

14321.59
10/715,146

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年11月19日
Date of Application:

出願番号 特願2002-335257
Application Number:

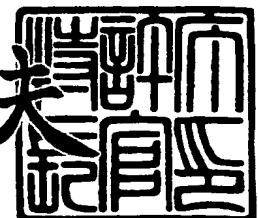
[ST. 10/C] : [JP 2002-335257]

出願人 日本電信電話株式会社
Applicant(s):

2004年 1月14日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康
2003-3110891



【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTTH146022

【提出日】 平成14年11月19日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 亀井 新

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 井上 靖之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 田中 拓也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 橋本 俊和

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100066980

【弁理士】

【氏名又は名称】 森 哲也

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001638

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波回路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光導波路と、

前記光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第1損失要素と、

前記第1損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に設けられ、前記光導波路を伝搬する光に対し、前記第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素とを備えることを特徴とする光導波回路。

【請求項 2】 前記第2損失要素に入射する光波のビーム径を変換するビーム径変換部をさらに備えることを特徴とする請求項1記載の光導波回路。

【請求項 3】 第1の幅および第1の厚みを有する第1光導波路と、

第2の幅および第2の厚みを有する第2光導波路と、

前記第1光導波路と前記第2光導波路との間に結合され、前記第1の幅および前記第1の厚みを前記第2の幅および前記第2の厚みに変換するテープ部と、

前記第2光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第1損失要素と、

前記第1損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に設けられ、前記第2光導波路を伝搬する光に対し、前記第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素とを備えることを特徴とする光導波回路。

【請求項 4】 前記第1の幅は前記第2の幅より小さいか、前記第1の厚みは前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第1の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅は前記第2の幅より大きいか、前記第1の厚みは前記第2の厚みより大きいか、前記第1の幅および前記第1の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより大きいことを特徴とする請求項3記載の光導波回路。

【請求項 5】 第1の幅および第1の厚みを有する第1光導波路と、

第2の幅および第2の厚みを有する第2光導波路と、

第3の幅および第3の厚みを有する第3光導波路と、

前記第1光導波路と前記第2光導波路との間に結合され、前記第1の幅および前記第1の厚みを前記第2の幅および前記第2の厚みに変換する第1テープ部と

前記第2光導波路と前記第3光導波路との間に結合され、前記第2の幅および前記第2の厚みを前記第3の幅および前記第3の厚みに変換する第2テープ部と

前記第2光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第1損失要素と、

前記第1損失要素の前段または後段の少なくとも一方に設けられ、前記第2光導波路を伝搬する光に対し、前記第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素とを備えることを特徴とする光導波回路。

【請求項6】 前記第1の幅および前記第3の幅は前記第2の幅より小さいか、前記第1の厚みおよび前記第3の厚みは前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第1の厚み並びに前記第3の幅および前記第3の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第3の幅は前記第2の幅より大きいか、前記第1の厚みおよび前記第3の厚みは前記第2の厚みより大きいか、前記第1の幅および前記第1の厚み並びに前記第3の幅および前記第3の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより大きいことを特徴とする請求項5記載の光導波回路。

【請求項7】 前記光導波路は、石英系ガラスからなるクラッドおよびコアを備えることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項記載の光導波回路。

【請求項8】 前記第1損失要素は、前記光導波路からクラッドの一部およびコアの一部が除去された溝であることを特徴とする請求項7記載の光導波回路。

【請求項9】 前記溝は、所定間隔を置いて複数配列されていることを特徴とする請求項8記載の光導波回路。

【請求項10】 前記溝には、前記コアとは異なる材料が充填されていることを特徴とする請求項8または9記載の光導波回路。

【請求項11】 前記溝に充填された材料は、前記光導波路の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有することを特徴とする請求項10記載の光導波回路。

【請求項12】 前記第2損失要素は、前記光導波路のコアの一部をクラッ

ドで置き換えることにより構成された導波路間隙であることを特徴とする請求項7～11のいずれか1項記載の光導波回路。

【請求項13】 前記第2損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする請求項7～11のいずれか1項記載の光導波回路。

【請求項14】 前記導波路間隙は、前記第1損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に所定間隔を置いて複数配列され、前記導波路間隙は、前記第1損失要素から遠ざかるに従って小さくなっていることを特徴とする請求項12記載の光導波回路。

【請求項15】 前記光導波路は複数のアレイ導波路を備え、前記溝は前記アレイ導波路を横切って形成され、前記アレイ導波路の両端にそれぞれ接続されたスラブ導波路をさらに備えることを特徴とする請求項8～13のいずれか1項記載の光導波回路。

【請求項16】 前記光導波路は長さの異なる2本のアーム導波路を備え、前記溝は少なくとも一方のアーム導波路を横切って形成され、前記アーム導波路の両端にそれぞれ接続された方向性結合器をさらに備えることを特徴とする請求項8～13のいずれか1項記載の光導波回路。

【請求項17】 前記光導波路に設けられた光誘起グレーティングと、前記光導波路の端部に搭載された半導体レーザダイオードとを備え、前記溝は前記光誘起グレーティングと前記半導体レーザダイオードとの間の光導波路を横切って形成されていることを特徴とする請求項8～13のいずれか1項記載の光導波回路。

【請求項18】 前記第1損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする請求項7記載の光導波回路。

【請求項19】 前記第2損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする請求項18記載の光導波回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光導波回路に関し、特に、光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさ

せる損失要素を有する光導波回路に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、シリコン基板上に形成された石英系ガラス導波路によって構成されたプレーナ光波回路（PLC）の研究開発が盛んに行われている。

このプレーナ光波回路では、例えば、非特許文献1に開示されているように、アレイ導波路回折格子（AWG）のような光波長合分波を実現する回路、あるいは、非特許文献2に開示されているように、熱光学（TO）スイッチのような光路切り替えを実現する回路などがある。また、プレーナ光波回路上に半導体光素子を搭載したハイブリッドプレーナ光波回路として、例えば、非特許文献3に開示されているように、外部共振器型周波数安定化レーザなどがある。

【0003】

図17は、従来のアレイ光導波路回折格子の構成を示す平面図、図18は、図17のA7-A7線で切断した断面図である。

図17および図18において、シリコン基板201上には、石英系ガラスからなるクラッド層202が形成され、クラッド層202内には、石英系ガラスをコアとするアレイ導波路203が形成されている。

【0004】

また、アレイ導波路203の両端には、スラブ導波路205a、205bがそれぞれ接続され、スラブ導波路205aの入力側には、入力導波路204aが接続され、スラブ導波路205bの出力側には、出力導波路204bが接続されている。

図19は、従来の熱光学スイッチの構成を示す平面図、図20は、図19のA8-A8線で切断した断面図である。

【0005】

図19および図20において、シリコン基板211上には、石英系ガラスからなるクラッド層212が形成され、クラッド層212内には、石英系ガラスをコアとするアーム導波路213a、213bが形成されている。

また、各アーム導波路213a、213bの両端には、方向性結合器215、

216がそれぞれ接続され、方向性結合器215の入力側には、入力導波路214a、214bがそれぞれ接続され、方向性結合器216の出力側には、出力導波路217a、217bがそれぞれ接続されている。

【0006】

また、クラッド層212上には、アーム導波路213aの位置に対応して、薄膜ヒータ207が形成され、薄膜ヒータ207は、配線208a、208bに接続されている。

図21は、従来の外部共振器型周波数安定化レーザの構成を示す斜視図である。

【0007】

図21において、シリコン基板221上には、石英系ガラスからなるクラッド層222が形成され、クラッド層222内には、石英系ガラスをコアとする光導波路223が形成されるとともに、光導波路223には光誘起グレーティング224が設けられている。

また、シリコン基板221上には、クラッド層222を除去することにより形成されたシリコンテラス225が設けられ、シリコンテラス225上には、半導体レーザ226が搭載されている。

【0008】

上述したプレーナ光波回路などの光導波回路では、光導波路の一部を除去して溝を形成すること、あるいは、その溝に適当な特性を有する材料を充填することで、光導波回路の特性を改善したり、光導波回路の新しい機能を引き出したりすることができる。

また、上述したプレーナ光波回路などの光導波回路では、光導波路を交差させることにより、光導波回路のレイアウトの自由度を向上させることができ、複数の回路要素を同一基板上に集積化することを可能として、新たな機能を持たせることが可能となる。

【0009】

光導波路の一部を除去して溝を形成し、その溝に適当な特性を有する材料を充填する例としては、例えば、特許文献1に開示されているように、アレイ導波路

回折格子のクラッドおよびコアの一部を除去した溝を形成し、その溝に各光導波路の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料を充填することによって、アレイ導波路回折格子の透過波長の温度依存性をなくす方法がある。

【0010】

また、光導波路の一部を除去して溝を形成し、その溝に適当な特性を有する材料を充填する別の例としては、例えば、特許文献2に開示されているように、熱光学スイッチのクラッドおよびコアの一部を除去した溝を形成し、その溝にアーム導波路の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料を充填することによって、熱光学スイッチの消費電力を低減する方法がある。

【0011】

また、光導波路の一部を除去して溝を形成し、その溝に適当な特性を有する材料を充填する別の例としては、例えば、特許文献3に開示されているように、周波数安定化レーザの光誘起グレーティングと半導体レーザ間の光導波路のクラッドおよびコアの一部を除去した溝を形成し、その溝に半導体レーザの屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料を充填することによって、温度変化による周波数安定化レーザのモードホップを抑制する方法がある。

【0012】

図22は、従来の温度補償化されたアレイ光導波路回折格子の構成を示す平面図、図23は、図22の光導波路を1本分について示す平面図、図24は、図22の光導波路を拡大して示す平面図、図25(a)は、図23のA9-A9線で切断した断面図、図25(b)は、図23のA10-A10線で切断した断面図である。

【0013】

図22、図23および図25において、シリコン基板231上には、石英系ガラスからなるクラッド層232が形成され、クラッド層232内には、図25(a)に示すように、石英系ガラスをコアとするアレイ導波路236が形成され、

さらに、アレイ導波路236には、直線導波路233が付加されている。ここで、アレイ導波路236は、内側から外側に向かって、一定量 ΔL づつ長くなるように構成されている。

【0014】

また、直線導波路233には、直線導波路233を横切る溝237が設けられ、溝237は、直線導波路233からクラッド層232およびコアの一部を除去することにより形成することができる。このため、図23に示すように、直線導波路233の一本分の光導波路241に注目すると、光導波路241が、溝242により間隔Wだけ空けて分断され、その隙間に温度補償材料243が充填された構造になっている。

【0015】

また、各直線導波路233に設けられる溝237は、図24に示すように、アレイ導波路236の延長時の一定量 ΔL に比例した量 $\Delta L'$ づつ長くなるように構成されている。

また、溝237には、図25（b）に示すように、アレイ導波路236の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料238が充填されている。特に、温度補償材料238としては、温度補償材料238の屈折率温度係数が $d n' / d T$ がアレイ導波路236の実効屈折率温度係数 $d n / d T$ と異符号であり、温度補償材料238の屈折率温度係数の絶対値 $| d n' / d T |$ が、アレイ導波路236の実効屈折率温度係数の絶対値 $| d n / d T |$ と比較して十分大きいことが好ましく、このような温度補償材料238として、例えば、屈折率温度係数 $d n' / d T$ が $-40 \times (d n / d T)$ 程度のシリコーン樹脂を挙げることができる。

【0016】

また、アレイ導波路236の両端には、スラブ導波路235a、235bがそれぞれ接続され、スラブ導波路235aの入力側には、入力導波路234aが接続され、スラブ導波路235bの出力側には、出力導波路234bが接続されている。

図26は、図22の光導波路のその他の例を示す平面図、図27は、図26の

光導波路を1本分について示す平面図である。

【0017】

図26および図27において、アレイ導波路251には、アレイ導波路251を横切る溝252a～252n（nは2以上の整数）が複数設けられ、これらの溝253a～253nには、温度補償材料253a～253nがそれぞれ充填されている。そして、アレイ導波路251の一本分の光導波路261に注目すると、図27に示すように、光導波路261が、幅w1、w2、…、wnをそれぞれ有するn個の溝262a～262nにより間隔d1、d2、…、dn-1だけそれぞれ空けて分断され、その隙間に温度補償材料263a～263nがそれぞれ充填された構造になっている。

【0018】

そして、図26に示すように、一定量 ΔL づつ長くなるアレイ導波路251の長さに応じて、各アレイ導波路251の溝252a～252nの長さも、一定量 ΔL に比例した量 $\Delta L' / n$ づつそれぞれ長くなるように設定されている。

図28は、従来のポリマーアシsted熱光学スイッチの構成を示す平面図、図29は、図19のA11-A11線で切断した断面図である。

【0019】

図28および図29において、シリコン基板271上には、石英系ガラスからなるクラッド層272が形成され、クラッド層272内には、石英系ガラスをコアとするアーム導波路273a、273bが形成されている。

また、クラッド層272上には、アーム導波路273a、273bの間に配置されるようにして、薄膜ヒータ274が形成され、薄膜ヒータ274は、配線275a、275bに接続されている。

【0020】

また、アーム導波路273aには、クラッド層272およびコアの一部を除去することにより形成された溝236が設けられ、溝236内には、アーム導波路273aの実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料277が充填されている。なお、温度補償材料277としては、例えば、シリコーン樹脂などを用いることができる。また、単一の溝236を用いる以外

にも、図27に示すように、複数の溝を用いることもできる。

【0021】

図30は、従来のモードホップが抑制化された外部共振器型周波数安定化レーザの構成を示す斜視図、図31(a)は、図30のA12-A12線で切断した断面図、図31(b)は、図30のA13-A13線で切断した断面図である。

図30および図31において、シリコン基板281上には、石英系ガラスからなるクラッド層282が形成され、クラッド層282内には、石英系ガラスをコアとする光導波路283が形成されるとともに、光導波路283には光誘起グレーティング284が設けられている。

【0022】

また、シリコン基板281上には、クラッド層282を除去することにより形成されたシリコンテラス285が設けられ、シリコンテラス285上には、半導体レーザ286が搭載されている。

また、光導波路283には、クラッド層282およびコアの一部を除去することにより形成された溝287が設けられ、溝287内には、光導波路283の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料288が充填されている。なお、温度補償材料288としては、例えば、シリコーン樹脂などを用いることができる。また、単一の溝287を用いる以外にも、図27に示すように、複数の溝を用いることもできる。

【0023】

図32は、従来の交差型光導波路の構成を示す平面図である。

図32において、シリコン基板上には、石英系ガラスをクラッドおよびコアとする光導波路291、292が交差するように配置されている。ここで、光導波路291、292の交差角 α は、プレーナ光波回路全体のレイアウトに依存して設定することができる。

【0024】

一方、プレーナ光波回路では、例えば、非特許文献4に開示されているように、光導波路の比屈折率差を大きくすることにより、光導波路の曲線部分の曲率半径を小さくして、小型化を図ることが行われている。

例えば、上述したアレイ導波路回折格子や熱光学スイッチなどのパッシブプレーナ光波回路でも、高屈折率差光導波路を用いることにより、小型化を図ることができる。

【0025】

また、半導体レーザを搭載したハイブリッドプレーナ光波回路では、高屈折率差光導波路を用いることにより、半導体レーザと石英系ガラス導波路との間の結合損失を減らすことができる。

現在では、アレイ導波路回折格子の総合的な小型化・低価格化が求められており、高屈折率差光導波路を用いた小型化だけでなく、透過波長を温度無依存化する技術を適用した温度制御の削除が重要になっている。

【0026】

また、熱光学スイッチの小型化・低消費電力化が求められており、上述したポリマーアシsted熱光学スイッチに高屈折率差光導波路を適用することも重要である。

【0027】

【非特許文献1】

H. Takahashi et al., "Arrayed-Waveguide Grating for Wavelength Division Multi/Demultiplexer With Nanometer Resolution", Electron. Lett., vol. 26, no. 2, pp. 87-88, 1990.

【非特許文献2】

M. Okuno et al., "8×8 Optical Matrix Switch Using Silica-Based Planer Lightwave Circuits", IEICE Trans. Electron., vol. 76-C, no. 7, pp. 1215-1223, 1993

【非特許文献3】

T. Tanaka et al., "Integrated Extra

Cavity laser Composed of Spot-Size
 Converted LD and UV Written Grating
 in Silica Waveguide on Si", Electron.
 Lett., vol. 32, no. 13, pp. 1202-1203, 1996

【非特許文献4】

S. Suzuki et al., High-Density Integrated Planar Lightwave Circuits Using SiO₂-GeO₂ Waveguides with a High Refractive Index Difference, J. Lightwave Technol., vol. 12, no. 5, pp. 790-796, 1994.

【特許文献1】

国際公開特許WO98/36299号公報

【特許文献2】

特開2000-29079号公報

【特許文献3】

特開平11-97784号公報

【0028】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、プレーナ光波回路では、アレイ導波路回折格子の透過波長の温度依存性をなくしたり、熱光学スイッチの消費電力を低減したり、温度変化による周波数安定化レーザのモードホップを抑制したりするために、光導波路の一部を除去して溝を形成し、その溝に適当な特性を有する材料を充填する必要がある。

【0029】

このため、従来のプレーナ光波回路では、光導波路に形成された溝での放射損失が大きくなり、アレイ導波路回折格子および熱光学スイッチでは、プレーナ光波回路の損失特性の劣化が大きくなり、周波数安定化レーザでは、発振時のしき

い値電流が大きくなるという問題があった。

また、プレーナ光波回路では、回路レイアウトの自由度を向上させるとともに、複数の回路要素を同一基板上に集積して、新たな機能を持たせるために、光導波路を交差させることが行なわれている。

【0030】

しかしながら、交差した光導波路をプレーナ光波回路に設けると、交差部において放射損失が発生し、プレーナ光波回路の損失特性の劣化が大きくなるという問題があった。

また、アレイ導波路回折格子や熱光学スイッチなどの小型化を図ったり、半導体素子との間の結合損失を減らしたりするために、高屈折率差光導波路を用いると、通常の比屈折率差光導波路を用いた場合に比べて、溝での放射損失が大きくなり、プレーナ光波回路の損失特性の劣化がさらに大きくなるという問題があった。

【0031】

図33は、溝により除去された光導波路の長さと放射損失との関係を示す図である。

図33において、比屈折率差0.75%、コア幅×コア厚=6.0 μm ×6.0 μm の光導波路の放射損失（実線）と、比屈折率差1.5%、コア幅×コア厚=4.5 μm ×4.5 μm の光導波路の放射損失（点線）とを比較すると、比屈折率差1.5%、コア幅×コア厚=4.5 μm ×4.5 μm の光導波路の方が、dB単位で2倍以上の過剰損失があることがわかる。

【0032】

また、光導波路の交差を含む光導波回路に高屈折率差光導波路を適用した場合、光導波路の交差における過剰損失は、通常の比屈折率差光導波路に比べて大きくなり、プレーナ光波回路の損失特性の劣化がさらに大きくなるという問題があった。

例えば、同一構造の光導波路が交差角45°で一回だけ交差する場合の過剰損失は、比屈折率差0.75%、コア幅×コア厚=6.0 μm ×6.0 μm の光導波路では、0.020dBであるのに対し、比屈折率差1.5%、コア幅×コア

厚=4.5μm×4.5μmの光導波路では、0.035dBとなる。

そこで、本発明の目的は、損失要素が設けられた光導波路の放射損失を低減することが可能な光導波回路を提供することである。

【0033】

【課題を解決するための手段】

上述した課題を解決するために、請求項1記載の光導波回路によれば、光導波路と、前記光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第1損失要素と、前記第1損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に設けられ、前記光導波路を伝搬する光に対し、前記第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素とを備えることを特徴とする。

【0034】

これにより、第2損失要素を用いることで、第1損失要素に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することができ、第1損失要素における光波の放射角（回折角）を小さくすることができる。

このため、第1損失要素における光波の放射損失を低減することができ、光導波路を光が伝搬する際の過剰損失を低減させて、光導波回路の特性劣化を抑制することができる。

【0035】

また、請求項2記載の光導波回路によれば、前記第2損失要素に入射する光波のビーム径を変換するビーム径変換部をさらに備えることを特徴とする。

これにより、第2損失要素に入射する光波のビーム径を拡大することができ、第2損失要素における光波の放射角を小さくすることができる。

このため、第1損失要素における光波の放射損失を低減するために、第1損失要素の前段に第2損失要素を設けた場合において、第2損失要素における光波の放射損失を抑制しつつ、第1損失要素における光波の放射損失を低減することができ、光が光導波路を伝搬する際の過剰損失を低減することができる。

【0036】

また、請求項3記載の光導波回路によれば、第1の幅および第1の厚みを有する第1光導波路と、第2の幅および第2の厚みを有する第2光導波路と、前記第

1 光導波路と前記第2光導波路との間に結合され、前記第1の幅および前記第1の厚みを前記第2の幅および前記第2の厚みに変換するテーパ部と、前記第2光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第1損失要素と、前記第1損失要素前段または後段の少なくとも一方の側に設けられ、前記第2光導波路を伝搬する光に対し、前記第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素とを備えることを特徴とする。

【0037】

これにより、第2損失要素に入射する光波のビーム径を拡大することができ、第2損失要素による光波の放射損失分を抑制しつつ、第1損失要素における光波の放射損失を低減させることができることから、光導波路を光が伝搬する際の過剰損失を低減することができる。

また、請求項4記載の光導波回路によれば、前記第1の幅は前記第2の幅より小さいか、前記第1の厚みは前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第1の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅は前記第2の幅より大きいか、前記第1の厚みは前記第2の厚みより大きいか、前記第1の幅および前記第1の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより大きいことを特徴とする。

【0038】

これにより、光導波路の幅または厚みを変更することで、光導波路を伝搬する光波のビーム径を変化させることができ、損失要素を光導波路に設けた場合においても、光が光導波路を伝搬する際の過剰損失を容易に低減することができる。

また、請求項5記載の光導波回路によれば、第1の幅および第1の厚みを有する第1光導波路と、第2の幅および第2の厚みを有する第2光導波路と、第3の幅および第3の厚みを有する第3光導波路と、前記第1光導波路と前記第2光導波路との間に結合され、前記第1の幅および前記第1の厚みを前記第2の幅および前記第2の厚みに変換する第1テーパ部と、前記第2光導波路と前記第3光導波路との間に結合され、前記第2の幅および前記第2の厚みを前記第3の幅および前記第3の厚みに変換する第2テーパ部と、前記第2光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第1損失要素と、前記第1損失要素の前段または後段の少

なくとも一方に設けられ、前記第2光導波路を伝搬する光に対し、前記第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素とを備えることを特徴とする。

【0039】

これにより、第2損失要素の前または後ろで光波のビーム径を変換することが可能となり、光が損失要素を通過する際の過剰損失を低減しつつ、損失要素を含む光導波回路を様々なプレーナ光波回路に容易に組み込むことが可能となる。

また、請求項6記載の光導波回路によれば、前記第1の幅および前記第3の幅は前記第2の幅より小さいか、前記第1の厚みおよび前記第3の厚みは前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第1の厚み並びに前記第3の幅および前記第3の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第3の幅は前記第2の幅より大きいか、前記第1の厚みおよび前記第3の厚みは前記第2の厚みより大きいか、前記第1の幅および前記第1の厚み並びに前記第3の幅および前記第3の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより大きいことを特徴とする。

【0040】

これにより、光導波路の幅または厚みを変更することで、第2損失要素の前または後ろで光波のビーム径を変化させることができ、光が損失要素を通過する際の過剰損失を低減しつつ、損失要素を含む光導波回路を様々なプレーナ光波回路に容易に組み込むことが可能となる。

また、請求項7記載の光導波回路によれば、前記光導波路は、石英系ガラスからなるクラッドおよびコアを備えることを特徴とする。

【0041】

これにより、シリコン基板上に光導波路を容易に形成することができ、様々なプレーナ光波回路を構成することが可能となる。

また、請求項8記載の光導波回路によれば、前記第1損失要素は、前記光導波路からクラッドの一部およびコアの一部が除去された溝であることを特徴とする。

【0042】

これにより、光導波路の形状や大きさを変更することなく、光導波路に新しい機能を付加することが可能となる。

また、請求項9記載の光導波回路によれば、前記溝は、所定間隔を置いて複数配列されていることを特徴とする。

これにより、光導波路に複数の新しい機能を付加することが可能となる。

【0043】

また、請求項10記載の光導波回路によれば、前記溝には、前記コアとは異なる材料が充填されていることを特徴とする。

これにより、適当な特性を有する材料を溝内に充填することで、プレーナ光波回路の諸特性を改善することが可能となる。

また、請求項11記載の光導波回路によれば、前記溝に充填された材料は、前記光導波路の温度係数の実効屈折率と異なる符合の屈折率温度係数を有することを特徴とする。

【0044】

これにより、光導波路の温度係数の実効屈折率と異なる符合の屈折率温度係数を有する材料を溝内に充填することで、アレイ導波路回折格子の透過波長の温度依存性をなくしたり、熱光学スイッチの消費電力を低減したり、温度変化による周波数安定化レーザのモードホップを抑制したりすることができる。

また、請求項12記載の光導波回路によれば、前記第2損失要素は、前記光導波路のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成された導波路間隙であることを特徴とする。

【0045】

これにより、コアの一部を除去することで、光導波路に損失要素を形成することが可能となり、製造工程の複雑化を抑制しつつ、損失要素が設けられた光導波路を光が伝搬する際の過剰損失を低減させることができる。

また、請求項13記載の光導波回路によれば、前記第2損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする。

【0046】

これにより、製造工程の複雑化を抑制しつつ、損失要素が設けられた光導波路

を光が伝搬する際の過剰損失を低減させることができる。

また、請求項14記載の光導波回路によれば、前記導波路間隙は、前記第1損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に所定間隔を置いて複数配列され、前記導波路間隙は、前記第1損失要素から遠ざかるに従って小さくなっていることを特徴とする。

【0047】

これにより、第1損失要素に入射する光波のビーム径を徐々に拡大することができ、導波路間隙における過剰損失を抑制しつつ、光が第1損失要素を通過する際の過剰損失を低減することができる。

また、請求項15記載の光導波回路によれば、前記光導波路は複数のアレイ導波路を備え、前記溝は前記アレイ導波路を横切って形成され、前記アレイ導波路の両端にそれぞれ接続されたスラブ導波路をさらに備えることを特徴とする。

【0048】

これにより、アレイ導波路回折格子の損失特性の劣化を抑制しつつ、透過波長の温度依存性をなくすことが可能となるとともに、高屈折率差光導波路の適用を可能として、アレイ導波路回折格子の小型化を図ることが可能となる。

また、請求項16記載の光導波回路によれば、前記光導波路は長さの異なる2本のアーム導波路を備え、前記溝は少なくとも一方のアーム導波路を横切って形成され、前記アーム導波路の両端にそれぞれ接続された方向性結合器をさらに備えることを特徴とする。

【0049】

これにより、熱光学スイッチの損失特性の劣化を抑制しつつ、消費電力を低減することが可能となるとともに、高屈折率差光導波路の適用を可能として、熱光学スイッチの小型化を図ることが可能となる。

また、請求項17記載の光導波回路によれば、前記光導波路に設けられた光誘起グレーティングと、前記光導波路の端部に搭載された半導体レーザダイオードとを備え、前記溝は前記光誘起グレーティングと前記半導体レーザダイオードとの間の光導波路を横切って形成されていることを特徴とする。

【0050】

これにより、周波数安定化レーザの発振時のしきい値電流の増大を抑制しつつ、温度変化によるモードホップを抑制することが可能となるとともに、高屈折率差光導波路の適用を可能として、半導体レーザと石英系ガラス導波路との間の結合損失を減らすことが可能となる。

また、請求項18記載の光導波回路によれば、前記第1損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする。

【0051】

これにより、回路レイアウトの自由度を向上させることができるとともに、複数の回路要素を同一基板上に集積することを可能として、新たな機能を持たせることができとなる。

また、請求項19記載の光導波回路によれば、前記第2損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする。

【0052】

これにより、交差部での過剰損失を抑制しつつ、回路レイアウトの自由度を向上させることができるとともに、複数の回路要素を同一基板上に集積することを可能として、新たな機能を持たせることができとなる。

【0053】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態に係る光導波回路について図面を参照しながら説明する。

図1 (a) は、本発明の第1実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図1 (b) は、図1 (a) のA1-A1線で切断した断面図、図2 (a) は、図1 (a) のB1-B1線で切断した断面図、図2 (b) は、図1 (a) のC1-C1線で切断した断面図、図1 (a) のD1-D1線で切断した断面図である。なお、この第1実施形態は、第1損失要素として、溝4に充填された温度補償材料5を用いるとともに、第2損失要素として、溝4の前段に導波路間隙6を設けるようにしたものである。

【0054】

図1および図2において、シリコン基板1上には、石英系ガラスからなるクラ

ッド層2が形成され、クラッド層2内には、図2（a）に示すように、石英系ガラスをコアとする光導波路3が形成されている。

また、光導波路3には、光導波路3を横切る幅 $W_{groove1}$ の溝4が設けられ、溝4は、図2（c）に示すように、光導波路3からクラッド層2およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0055】

また、溝4には、図2（c）に示すように、光導波路3の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料5が充填されている。特に、温度補償材料5としては、温度補償材料5の屈折率温度係数が $d n' / d T$ が光導波路3の実効屈折率温度係数 $d n / d T$ と異符号であり、温度補償材料5の屈折率温度係数の絶対値 $|d n' / d T|$ が、光導波路3の実効屈折率温度係数の絶対値 $|d n / d T|$ と比較して十分大きいことが好ましく、このような温度補償材料5として、例えば、屈折率温度係数 $d n' / d T$ が $-40 \times (d n / d T)$ 程度のシリコーン樹脂を挙げることができる。

【0056】

また、光導波路3には、溝4の前段に間隔 d_{gap1} だけ空けて、幅 W_{gap1} の導波路間隙6が設けられ、導波路間隙6は、光導波路3のコアの一部をクラッド層2で置き換えることにより構成することができる。また、導波路間隙6の幅 W_{gap1} は、導波路間隙6での放射損失が、温度補償材料5が充填された溝4での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝4と導波路間隙6の間隔 d_{gap1} は、導波路間隙6を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝4に到達できるような距離に設定することができる。

【0057】

例えば、光導波路3の比屈折率差は1.5%、コア幅×コア厚は $4.5 \mu m \times 4.5 \mu m$ 、溝4の幅 $W_{groove1}$ は $130 \mu m$ 、導波路間隙6の幅 W_{gap1} は $20 \mu m$ 、溝4と導波路間隙6との間の間隔 d_{gap1} は $20 \mu m$ とすることができる。

そして、光導波路3を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙6を通過した後、温度補償材料5が充填された溝4を伝播し、再び光導波路3を伝播する。

【0058】

ここで、光導波路3を導波する光が溝4を通過すると、溝4で放射損失が発生する。そして、溝4を通過する際の光波の放射損失を減らすためには、溝4を通過する光波の放射角を小さくすることが必要となり、光波の放射角を小さくするためには、光波のビーム径を拡大することが有効である。

一方、導波路間隙6などの損失要素を伝播する光波は、導波路間隙6を通過した後、直ぐに完全に放射されるのではなく、しばらくは光導波路3の近傍を進行しながら、徐々に放射される。このため、導波路間隙6を通過した直後は、光導波路3を伝播する光波と、放射に転じる前に光導波路3の近傍に存在する光波とが合わさって、光導波路3を伝播する光波のビーム径が擬似的に拡大されたような状態を生み出すことができる。

【0059】

このため、溝4の前段に導波路間隙6を設けることにより、溝4に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することができ、損失要素が設けられた光導波路3を光波が伝播する際の過剰損失を減らすことが可能となる。

例えば、図23の溝242が設けられた光導波路241の過剰損失が8.9dBであるのに対し、図1の溝4および導波路間隙6が設けられた光導波路1の過剰損失の合計が7.7dBとなり、図23の構成に比べて、過剰損失を1.2dBだけ低減することができる。

【0060】

図3(a)は、本発明の第2実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図3(b)は、図3(a)のA2-A2線で切断した断面図である。なお、この第2実施形態は、第1損失要素として、溝14に充填された温度補償材料15を用いるとともに、第2損失要素として、溝14の前段および後段に導波路間隙16a、16bをそれぞれ設けるようにしたものである。

【0061】

図3において、シリコン基板11上には、石英系ガラスからなるクラッド層12が形成され、クラッド層12内には、石英系ガラスをコアとする光導波路13が形成されている。

また、光導波路13には、光導波路13を横切る幅 $W_{groove2}$ の溝14が設けられ、溝14は、光導波路13からクラッド層12およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0062】

また、溝14には、光導波路13の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料15が充填されている。

また、光導波路13には、溝14の前段に間隔 d_{gap11} だけ空けて、幅 W_{gap11} の導波路間隙16aが設けられるとともに、溝14の後段に間隔 d_{gap12} だけ空けて、幅 W_{gap12} の導波路間隙16bが設けられ、導波路間隙16a、16bは、光導波路13のコアの一部をクラッド層12でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

【0063】

また、導波路間隙16a、16bの幅 W_{gap11} 、 W_{gap12} は、導波路間隙16a、16b全体での放射損失が、温度補償材料15が充填された溝14での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝14と導波路間隙16aの間隔 d_{gap11} は、導波路間隙16aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝14に到達できるような距離に設定することができ、溝14と導波路間隙16bの間隔 d_{gap12} は、溝14を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙16bに到達できるような距離に設定することができる。

【0064】

例えば、光導波路13の比屈折率差は1.5%、コア幅×コア厚は $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、溝14の幅 $W_{groove2}$ は $130\mu\text{m}$ 、導波路間隙16aの幅 W_{gap11} は $20\mu\text{m}$ 、溝14と導波路間隙16aとの間の間隔 d_{gap11} は $20\mu\text{m}$ 、導波路間隙16bの幅 W_{gap12} は $20\mu\text{m}$ 、溝14と導波路間隙16bとの間の間隔 d_{gap12} は $20\mu\text{m}$ とし、温度補償材料15として、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0065】

そして、光導波路13を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙16aを通過した後、温度補償材料15が充填された溝14を伝播し、さらに、導波

路間隙16bを通過した後、再び光導波路13を伝播する。

このため、溝14の前段に導波路間隙16aを設けることにより、溝14に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝14の後段に導波路間隙16bを設けることにより、溝14から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、損失要素が設けられた光導波路13を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

【0066】

例えば、図23の溝242が設けられた光導波路241の過剰損失が8.9dBであるのに対し、図3の溝14および導波路間隙16a、16bが設けられた光導波路13の過剰損失の合計が6.5dBとなり、図23の構成に比べて、過剰損失を2.4dBだけ低減することができる。

図4(a)は、本発明の第3実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図4(b)は、図4(a)のA3-A3線で切断した断面図である。なお、この第3実施形態は、第1損失要素として、溝24に充填された温度補償材料25を用いるとともに、第2損失要素として、溝14の前段および後段に複数の導波路間隙26a～26c、26d～26fをそれぞれ設けるようにしたものである。

【0067】

図4において、シリコン基板21上には、石英系ガラスからなるクラッド層22が形成され、クラッド層22内には、石英系ガラスをコアとする光導波路23が形成されている。

また、光導波路23には、光導波路23を横切る幅W_{groove3}の溝24が設けられ、溝24は、光導波路23からクラッド層22およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0068】

また、溝24には、光導波路23の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料25が充填されている。

また、光導波路23には、溝24の前段に間隔d_{gap21}だけ空けて、幅W_{gap21}の導波路間隙26aが設けられ、導波路間隙26aの前段に間隔d_{gap22}だけ空けて、幅W_{gap22}の導波路間隙26bが設けられ、導波路間隙26bの前段に間

隔 d_{gap23} だけ空けて、幅 W_{gap23} の導波路間隙 26c が設けられるとともに、溝 14 の後段に間隔 d_{gap24} だけ空けて、幅 W_{gap24} の導波路間隙 26d が設けられ、導波路間隙 26d の後段に間隔 d_{gap25} だけ空けて、幅 W_{gap25} の導波路間隙 26e が設けられ、導波路間隙 26e の後段に間隔 d_{gap26} だけ空けて、幅 W_{gap26} の導波路間隙 26f が設けられ、導波路間隙 26a～26f は、光導波路 23 のコアの一部をクラッド層 22 でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

【0069】

また、導波路間隙 26a～26f の幅 $W_{gap21} \sim W_{gap26}$ は、導波路間隙 26a～26f 全体での放射損失が、温度補償材料 25 が充填された溝 24 での放射損失より小さくなるように設定することができ、溝 24 から遠ざかるに従って、導波路間隙 26a～26f の幅 $W_{gap21} \sim W_{gap26}$ を小さくすることが好ましい。

また、溝 24 と導波路間隙 26a の間隔 d_{gap21} は、導波路間隙 26a を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 24 に到達できるような距離に設定することができ、導波路間隙 26a と導波路間隙 26b の間隔 d_{gap22} は、導波路間隙 26b を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26a に到達できるような距離に設定することができ、導波路間隙 26b と導波路間隙 26c の間隔 d_{gap23} は、導波路間隙 26c を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26b に到達できるような距離に設定することができる。

【0070】

また、溝 24 と導波路間隙 26d の間隔 d_{gap24} は、溝 24 を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26d に到達できるような距離に設定することができ、導波路間隙 26d と導波路間隙 26e の間隔 d_{gap25} は、導波路間隙 26d を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26e に到達できるような距離に設定することができ、導波路間隙 26e と導波路間隙 26f の間隔 d_{gap26} は、導波路間隙 26e を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26f に到達できるような距離に設定することができる。

【0071】

例えば、光導波路 23 の比屈折率差は 1.5 %、コア幅×コア厚は 4.5 μm

×4.5 μm、溝24の幅W_{groove3}は130 μm、導波路間隙26aの幅W_{gap21}は20 μm、溝24と導波路間隙26aとの間の間隔d_{gap21}は20 μm、導波路間隙26bの幅W_{gap22}は10 μm、導波路間隙26aと導波路間隙26bとの間の間隔d_{gap22}は20 μm、導波路間隙26cの幅W_{gap23}は5 μm、導波路間隙26bと導波路間隙26cとの間の間隔d_{gap23}は20 μm、導波路間隙26dの幅W_{gap24}は20 μm、溝24と導波路間隙26dとの間の間隔d_{gap24}は20 μm、導波路間隙26eの幅W_{gap25}は10 μm、導波路間隙26dと導波路間隙26eとの間の間隔d_{gap25}は20 μm、導波路間隙26fの幅W_{gap26}は5 μm、導波路間隙26eと導波路間隙26fとの間の間隔d_{gap26}は20 μmとし、温度補償材料25として、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0072】

そして、光導波路23を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙26a～26cを通過した後、温度補償材料25が充填された溝24を伝播し、さらに、導波路間隙26d～26fを通過した後、再び光導波路23を伝播する。

このため、溝14の前段に複数の導波路間隙26a～26cを設けることにより、溝24に入射する光波のビーム径の拡大量を増加させることが可能となるとともに、溝24の後段に複数の導波路間隙26d～26fを設けることにより、溝24から出射する光波のビーム径の拡大量を増加させることが可能となり、損失要素が設けられた光導波路23を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

【0073】

例えば、図23の溝242が設けられた光導波路241の過剰損失が8.9dBであるのに対し、図3の溝24および複数の導波路間隙26d～26fが設けられた光導波路23の過剰損失の合計が5.6dBとなり、図23の構成に比べて、過剰損失を3.6dBだけ低減することができる。

図5(a)は、本発明の第4実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図5(b)は、図5(a)のA4-A4線で切断した断面図、図6(a)は、図5(a)のB4-B4線で切断した断面図、図6(b)は、図5(a)のC4-C4線で切断した断面図である。なお、この第4実施形態は、第1損失要素として

、溝34に充填された温度補償材料35を用いるとともに、第2損失要素として、溝34の前段および後段に導波路間隙36a、36bをそれぞれ設け、さらに、溝34および導波路間隙36a、36bで分断される光導波路33の幅を拡大するようにしたものである。

【0074】

図5および図6において、シリコン基板31上には、石英系ガラスからなるクラッド層32が形成され、クラッド層32内には、石英系ガラスをコアとする光導波路33が形成されている。ここで、光導波路33には、幅広部33cおよび幅狭部33a、33eが設けられ、幅広部33cおよび幅狭部33a、33eは、テープ部33b、33dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。

【0075】

また、光導波路33には、幅広部33cを横切る幅W_{groove4}の溝34が設けられ、溝34は、光導波路33からクラッド層32およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

また、溝34には、光導波路33の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料35が充填されている。

【0076】

また、光導波路33の幅広部33cには、溝34の前段に間隔d_{gap31}だけ空けて、幅W_{gap31}の導波路間隙36aが設けられるとともに、溝34の後段に間隔d_{gap32}だけ空けて、幅W_{gap32}の導波路間隙36bが設けられ、これらの導波路間隙36a、36bは、光導波路33のコアの一部をクラッド層32でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

【0077】

また、導波路間隙36a、36bの幅W_{gap31}、W_{gap32}は、導波路間隙36a、36b全体での放射損失が、温度補償材料35が充填された溝34での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝34と導波路間隙36aの間隔d_{gap31}は、導波路間隙36aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝34に到達できるような距離に設定することができ、溝34と導波路間隙36bの間隔d_{gap32}は、溝34を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路

間隙36bに到達できるような距離に設定することができる。

【0078】

例えば、光導波路33の比屈折率差は1.5%、幅狭部33a、33eのコア幅×コア厚は4.5μm×4.5μm、幅広部33cのコア幅×コア厚は9.0μm×4.5μm、溝34の幅W_{groove4}は130μm、導波路間隙36aの幅W_{gap31}は20μm、溝34と導波路間隙36aとの間の間隔d_{gap31}は20μm、導波路間隙36bの幅W_{gap32}は20μm、溝34と導波路間隙36bとの間の間隔d_{gap32}は20μmとし、温度補償材料35として、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0079】

そして、光導波路33を導波する光は、幅狭部33aから幅広部33cに入射する際にビーム径が拡大された後、放射損失を伴いつつ、導波路間隙36aを通過する。そして、温度補償材料35が充填された溝34を伝播し、さらに、導波路間隙36bを通過した後、幅広部33cから幅狭部33eに入射する際にビーム径が縮小され、光導波路33を伝播する。

【0080】

このため、溝34の前段に導波路間隙36aを設けることにより、溝34に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝34の後段に導波路間隙36bを設けることにより、溝34から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となることに加え、導波路間隙36a、36bを通過する光波のビーム径を拡大することが可能となり、損失要素が設けられた光導波路33を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

【0081】

例えば、図23の溝242が設けられた光導波路241の過剰損失が8.9dBであるのに対し、図5の溝34および導波路間隙36a、36bに加え、幅広部33cが設けられた光導波路33の過剰損失の合計が5.0dBとなり、図23の構成に比べて、過剰損失を3.9dBだけ低減することができる。

図7(a)は、本発明の第5実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図7(b)は、図7(a)のA5-A5線で切断した断面図である。なお、この第

5実施形態は、第1損失要素として、複数の溝44a～44dに充填された温度補償材料45a～45dを用いるとともに、第2損失要素として、溝44a～44dの前段および後段に導波路間隙46a、46bをそれぞれ設けるようにしたものである。

【0082】

図7において、シリコン基板41上には、石英系ガラスからなるクラッド層42が形成され、クラッド層42内には、石英系ガラスをコアとする光導波路43が形成されている。

また、光導波路43には、光導波路43を横切る幅 $w_{groove41} \sim w_{groove44}$ の複数の溝44a～44dが、それぞれ間隔 $d_{groove41} \sim d_{groove43}$ だけ空けて形成され、これらの溝44a～44dは、光導波路43からクラッド層42およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0083】

また、これらの溝44a～44dには、光導波路43の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料45a～45dがそれぞれ充填されている。

また、光導波路43には、溝44aの前段に間隔 d_{gap41} だけ空けて、幅 W_{gap41} の導波路間隙46aが設けられるとともに、溝44dの後段に間隔 d_{gap42} だけ空けて、幅 W_{gap42} の導波路間隙46bが設けられ、導波路間隙46a、46bは、光導波路43のコアの一部をクラッド層42でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

【0084】

また、導波路間隙46a、46bの幅 W_{gap41} 、 W_{gap42} は、導波路間隙46a、46b全体での放射損失が、温度補償材料45a～45dが充填された溝44a～44d全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝44aと導波路間隙46aの間隔 d_{gap41} は、導波路間隙46aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝44aに到達できるような距離に設定することができ、溝44dと導波路間隙46bの間隔 d_{gap42} は、溝44dを通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙46bに到達できるような距離に設定す

ることができる。

【0085】

例えば、光導波路43の比屈折率差は1.5%、コア幅×コア厚は4.5 μ m \times 4.5 μ m、溝44a～44dの幅W_{groove41}～W_{groove44}はそれぞれ40 μ m、溝44a～44dの間の間隔d_{groove41}～d_{groove43}はそれぞれ20 μ m、導波路間隙46aの幅W_{gap41}は20 μ m、溝44aと導波路間隙46aとの間の間隔d_{gap41}は20 μ m、導波路間隙46bの幅W_{gap42}は20 μ m、溝44dと導波路間隙46bとの間の間隔d_{gap42}は20 μ mとし、温度補償材料45a～45dとして、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0086】

そして、光導波路43を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙46aを通過した後、温度補償材料45a～45dが充填された溝44a～44dを伝播し、さらに、導波路間隙46bを通過した後、再び光導波路43を伝播する。

このため、溝44a～44dに入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝44a～44dから出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、損失要素が設けられた光導波路43を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

【0087】

例えば、図27の溝262a～262nが設けられた光導波路261の過剰損失が4.6dBであるのに対し、図7の溝44a～44dおよび導波路間隙46a、46bが設けられた光導波路43の過剰損失の合計が3.4dBとなり、図27の構成に比べて、過剰損失を1.2dBだけ低減することができる。

図8(a)は、本発明の第6実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図8(b)は、図8(a)のA6-A6線で切断した断面図である。なお、この第6実施形態は、第1損失要素として、複数の溝54a～54dに充填された温度補償材料55a～55dを用いるとともに、第2損失要素として、溝54a～54dの前段および後段に導波路間隙56a、56bをそれぞれ設け、さらに、溝54a～54dおよび導波路間隙56a、56bで分断される光導波路53の幅

を拡大するようにしたものである。

【0088】

図8において、シリコン基板51上には、石英系ガラスからなるクラッド層52が形成され、クラッド層52内には、石英系ガラスをコアとする光導波路53が形成されている。ここで、光導波路53には、幅広部53cおよび幅狭部53a、53eが設けられ、幅広部53cおよび幅狭部53a、53eは、テーパ部53b、53dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。

【0089】

また、光導波路53には、幅広部53cを横切る幅 $w_{groove51} \sim w_{groove54}$ の複数の溝54a～54dが、それぞれ間隔 $d_{groove51} \sim d_{groove53}$ だけ空けて形成され、これらの溝54a～54dは、光導波路53からクラッド層52およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

また、これらの溝54a～54dには、光導波路53の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料55a～55dがそれぞれ充填されている。

【0090】

また、光導波路53の幅広部53cには、溝54aの前段に間隔 d_{gap51} だけ空けて、幅 W_{gap51} の導波路間隙56aが設けられるとともに、溝54dの後段に間隔 d_{gap52} だけ空けて、幅 W_{gap52} の導波路間隙56bが設けられ、導波路間隙56a、56bは、光導波路53のコアの一部をクラッド層52でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

【0091】

また、導波路間隙56a、56bの幅 W_{gap51} 、 W_{gap52} は、導波路間隙56a、56b全体での放射損失が、温度補償材料55a～55dが充填された溝54a～54d全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝54aと導波路間隙56aの間隔 d_{gap51} は、導波路間隙56aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝54aに到達できるような距離に設定することができ、溝54dと導波路間隙56bの間隔 d_{gap52} は、溝54dを通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙56bに到達できるような距離に設定す

ることができる。

【0092】

例えば、光導波路53の比屈折率差は1.5%、幅狭部53a、53eのコア幅×コア厚は4.5μm×4.5μm、幅広部53cのコア幅×コア厚は9.0μm×4.5μm、溝54a～54dの幅W_{groove51}～W_{groove54}はそれぞれ25μm、溝54a～54dの間の間隔d_{groove51}～d_{groove53}はそれぞれ20μm、導波路間隙56aの幅W_{gap51}は15μm、溝54aと導波路間隙56aとの間の間隔d_{gap51}は15μm、導波路間隙56bの幅W_{gap52}は15μm、溝54dと導波路間隙56bとの間の間隔d_{gap52}は15μmとし、温度補償材料55a～55dとして、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0093】

そして、光導波路53を導波する光は、幅狭部53aから幅広部53cに入射する際にビーム径が拡大された後、放射損失を伴いつつ、導波路間隙56aを通過する。そして、温度補償材料55a～55dが充填された溝54a～54dを伝播し、さらに、導波路間隙56bを通過した後、幅広部53cから幅狭部53eに入射する際にビーム径が縮小され、光導波路53を伝播する。

【0094】

このため、溝54a～54dに入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝54a～54dから出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となることに加え、導波路間隙56a、56bを通過する光波のビーム径を拡大することが可能となり、損失要素が設けられた光導波路53を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

【0095】

例えば、図27の溝262a～262nが設けられた光導波路261の過剰損失が4.6dBであるのに対し、図8の溝54a～54dおよび導波路間隙56a、56bに加え、幅広部53cが設けられた光導波路53の過剰損失の合計が2.1dBとなり、図27の構成に比べて、過剰損失を2.5dBだけ低減することができる。

【0096】

図9は、本発明の第7実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。なお、この第7実施形態は、第1損失要素として、溝70に充填された温度補償材料が設けられるとともに、第2損失要素として、溝70の前段および後段に導波路間隙71a、71bがそれぞれ設けられた特性補償領域69を、アレイ光導波路回折格子に組み込むようにしたものである。

【0097】

図9において、シリコン基板61上には、石英系ガラスをクラッドおよびコアとするアレイ導波路64が形成されている。ここで、アレイ導波路64は、内側から外側に向かって、一定量 ΔL づつ長くなるように構成することができる。

また、アレイ導波路64には、透過波長を温度無依存化する特性補償領域69が設けられ、特性補償領域69には、アレイ導波路64を横切る溝70が設けられ、溝70は、アレイ導波路64からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。ここで、アレイ導波路64に設けられる溝70は、アレイ導波路64の延長時の一定量 ΔL に比例した量 $\Delta L'$ づつ長くなるように構成することができる。

【0098】

また、溝70には、アレイ導波路64の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料が充填されている。

また、特性補償領域69には、溝70の前段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙71aが設けられるとともに、溝70の後段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙71bが設けられ、これらの導波路間隙71a、71bは、アレイ導波路64のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成することができる。

【0099】

また、アレイ導波路64の両端には、スラブ導波路63a、63bがそれぞれ接続され、スラブ導波路63aの入力側には、入力導波路62aが接続され、スラブ導波路63bの出力側には、出力導波路62bが接続されている。

さらに、入力導波路62aは、光ファイバコネクタ66aを介して光ファイバ65aに接続されるとともに、光ファイバ65aは、光ファイバ接続部品67a

に接続され、出力導波路62bは、光ファイバコネクタ66bを介して光ファイバ65bに接続されるとともに、光ファイバ65bは、光ファイバ接続部品67bに接続され、これらの部品は回路ケース68に収容されている。

【0100】

そして、アレイ導波路64を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙71aを通過した後、温度補償材料が充填された溝70を伝播し、さらに、導波路間隙71bを通過した後、再びアレイ導波路64を伝播する。

このため、溝70に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝70から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、アレイ光導波路回折格子の透過波長の温度無依存化を図りつつ、アレイ導波路64を光波が伝播する際の過剰損失を減らすことが可能となる。

【0101】

図10は、本発明の第8実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。なお、この第8実施形態は、第1損失要素として、複数の溝82a～82nに充填された温度補償材料83a～83nが設けられるとともに、第2損失要素として、溝82a～82nの前段および後段に導波路間隙84a、84bがそれぞれ設けられた特性補償領域を、アレイ光導波路回折格子に組み込むようにしたものである。

【0102】

図10において、アレイ導波路81には、アレイ導波路81を横切る複数の溝82a～82nが、それぞれ間隔d_{groove6}だけ空けて形成され、これらの溝82a～82nは、アレイ導波路81からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

ここで、アレイ導波路81を横切る各溝82a～82nの幅は、W1～W1+W_{min1}でそれぞれ単調に増加するように構成されている。また、一定量△Lづつ長くなるアレイ導波路81の長さに応じて、溝82a～82nの長さも、一定量△Lに比例した量△L'／nづつそれぞれ長くなるように設定されている。

【0103】

また、これらの溝82a～82nには、アレイ導波路81の実効屈折率の温度

係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料83a～83nがそれぞれ充填されている。

また、アレイ導波路81には、溝82aの前段に間隔d_{gap61}だけ空けて、幅W_{gap61}の導波路間隙84aが設けられるとともに、溝82nの後段に間隔d_{gap62}だけ空けて、幅W_{gap62}の導波路間隙84bが設けられ、導波路間隙84a、84bは、アレイ導波路81のコアの一部をクラッドでそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

【0104】

また、導波路間隙84a、84bの幅W_{gap61}、W_{gap62}は、導波路間隙84a、84b全体での放射損失が、温度補償材料83a～83nが充填された溝82a～82n全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝82aと導波路間隙84aの間隔d_{gap61}は、導波路間隙84aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝82aに到達できるような距離に設定することができ、溝82nと導波路間隙84bの間隔d_{gap62}は、溝82nを通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙84bに到達できるような距離に設定することができる。

【0105】

例えば、アレイ導波路81の本数N_{awg}は130本、隣接するアレイ導波路81の長さの差△Lは60μm、アレイ導波路81の比屈折率差は1.5%、コア幅×コア厚は4.5μm×4.5μmとすることができます。なお、この設計により、波長チャネル間隔0.8nm、チャネル数16のアレイ光導波路回折格子を実現することができる。この時、隣接するアレイ導波路81間で全ての溝82a～82nによって除去される長さの差△L'は、1.25μmである。

【0106】

また、溝数は8とし、隣接する溝82a～82nの間の間隔d_{groove6}はそれぞれ20μmとすることができます。この時、隣接するアレイ導波路81間で1つの溝82a～82nによって除去される長さの差△L'／nは、1.25／8=0.16μmであり、各溝82a～82nの最大溝幅と最小溝幅の差W1は、W1=△L'／n×(N_{awg}-1)=20.2μmである。また、溝82a～82

nは、フォトリソグラフィと反応性イオンエッチングによって形成することができ、エッチング時の再現性を考慮して、最小溝幅W_{min1}=5 μmとすることができる。

【0107】

また、導波路間隙84aの幅W_{gap61}は20 μm、溝82aと導波路間隙84aとの間の間隔d_{gap61}は20 μm、導波路間隙86bの幅W_{gap62}は20 μm、溝82nと導波路間隙86bとの間の間隔d_{gap62}は20 μmとし、温度補償材料83a～83nとして、シリコーン樹脂を用いることができる。

この場合、図26の溝252a～252nが設けられたアレイ導波路251の過剰損失が2.6dBであるのに対し、図10の溝82a～82nおよび導波路間隙84a、84bが設けられたアレイ導波路81の過剰損失の合計が1.8dBとなり、図26の構成に比べて、過剰損失を0.8dBだけ低減することができる。

【0108】

図11は、本発明の第9実施形態に係る光導波回路の構成を示す平面図である。なお、この第9実施形態は、第1損失要素として、複数の溝92a～92nに充填された温度補償材料93a～93nが設けられるとともに、第2損失要素として、溝92a～92nの前段および後段に導波路間隙94a、94bがそれぞれ設けられ、さらに、溝92a～92nおよび導波路間隙94a、94bで分断される光導波路91の幅が拡大された特性補償領域を、アレイ光導波路回折格子に組み込むようにしたものである。

【0109】

図11において、アレイ導波路91には、幅広部93cおよび幅狭部93a、93eが設けられ、幅広部93cおよび幅狭部93a、93eは、テーパ部93b、93dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。そして、アレイ導波路81には、幅広部93cを横切る複数の溝92a～92nが、それぞれ間隔d_{groove7}だけ空けて形成され、これらの溝92a～92nは、アレイ導波路91からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0110】

ここで、アレイ導波路91を横切る各溝92a～92nの幅は、W2～W2+W_{min2}でそれぞれ単調に増加するように構成されている。また、一定量△Lづつ長くなるアレイ導波路91の長さに応じて、溝92a～92nの長さも、一定量△Lに比例した量△L'／nづつそれぞれ長くなるように設定されている。

また、これらの溝92a～92nには、アレイ導波路91の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料93a～93nがそれぞれ充填されている。

【0111】

また、アレイ導波路81の幅広部93cには、溝92aの前段に間隔d_{gap71}だけ空けて、幅W_{gap71}の導波路間隙94aが設けられるとともに、溝92nの後段に間隔d_{gap72}だけ空けて、幅W_{gap72}の導波路間隙94bが設けられ、導波路間隙94a、94bは、アレイ導波路91のコアの一部をクラッドでそれぞれ置き換えることにより構成することができる。また、導波路間隙94a、94bの幅W_{gap71}、W_{gap72}は、導波路間隙94a、94b全体での放射損失が、温度補償材料93a～93nが充填された溝92a～92n全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。

【0112】

また、溝92aと導波路間隙94aの間隔d_{gap71}は、導波路間隙94aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝92aに到達できるような距離に設定することができ、溝92nと導波路間隙94bの間隔d_{gap72}は、溝92nを通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙94bに到達できるような距離に設定することができる。

【0113】

例えば、アレイ導波路91の本数N_{awg}は130本、隣接するアレイ導波路91の長さの差△Lは60μm、アレイ導波路91の比屈折率差は1.5%、幅狭部93a、93eのコア幅×コア厚は4.5μm×4.5μm、幅広部93cのコア幅×コア厚は9.0μm×4.5μm、溝数は8、隣接する溝92a～92nの間の間隔d_{groove7}はそれぞれ20μm、溝92a～92nの最小溝幅W_{min2}=5μm、導波路間隙94aの幅W_{gap71}は20μm、溝92aと導波路間隙9

4 aとの間の間隔 d_{gap71} は $15 \mu m$ 、導波路間隙 9 6 b の幅 W_{gap72} は $20 \mu m$ 、溝 9 2 n と導波路間隙 9 6 b との間の間隔 d_{gap72} は $15 \mu m$ とし、温度補償材料 9 3 a～9 3 n として、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0114】

この場合、図 2 6 の溝 2 5 2 a～2 5 2 n が設けられたアレイ導波路 2 5 1 の過剰損失が 2.6 dB であるのに対し、図 1 1 の溝 9 2 a～9 2 n および導波路間隙 9 4 a、9 4 b に加え、幅広部 9 3 c が設けられたアレイ導波路 9 1 の過剰損失の合計が 1.0 dB となり、図 2 6 の構成に比べて、過剰損失を 1.6 dB だけ低減することができる。

【0115】

図 1 2 は、本発明の第 1 0 実施形態に係る光導波回路の概略構成を示す平面図である。なお、この第 1 0 実施形態は、第 1 損失要素として、溝 1 1 0 に充填された温度補償材料が設けられるとともに、第 2 損失要素として、溝 1 1 0 の前段および後段に導波路間隙 1 1 1 a、1 1 1 b がそれぞれ設けられた特性補償領域 1 0 9 を、熱光学スイッチに組み込むようにしたものである。

【0116】

図 1 2 において、シリコン基板 1 0 1 上には、石英系ガラスをクラッドおよびコアとするアーム導波路 1 0 4 a、1 0 4 b が形成されている。

また、アーム導波路 1 0 4 a には、熱光学スイッチの消費電力を低減する特性補償領域 1 0 9 が設けられ、特性補償領域 1 0 9 には、アーム導波路 1 0 4 a を横切る溝 1 1 0 が設けられ、溝 1 1 0 は、アーム導波路 1 0 4 a からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0117】

また、溝 1 1 0 には、アーム導波路 1 0 4 a の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料が充填されている。

また、特性補償領域 1 0 9 には、溝 1 1 0 の前段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙 1 1 1 a が設けられるとともに、溝 1 1 0 の後段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙 1 1 1 b が設けられ、これらの導波路間隙 1 1 1 a 、1 1 1 b は、アーム導波路 1 0 4 a のコアの一部をクラッドで置き換えること

により構成することができる。

【0118】

また、各アーム導波路104a、104bの両端には、方向性結合器103、105がそれぞれ接続され、方向性結合器103の入力側には、入力導波路102a、102bがそれぞれ接続され、方向性結合器105の出力側には、出力導波路106a、106bがそれぞれ接続されている。

また、アーム導波路104aの横には、薄膜ヒータ107が形成され、薄膜ヒータ107は、配線108a、108bに接続されている。

【0119】

そして、アーム導波路104aを導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙111aを通過した後、温度補償材料が充填された溝110を伝播し、さらに、導波路間隙111bを通過した後、再びアーム導波路104aを伝播する。

このため、溝110に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝110から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、熱光学スイッチの消費電力の低減を図りつつ、アーム導波路104aを光波が伝播する際の過剰損失を減らすことが可能となる。

【0120】

図13は、本発明の第11実施形態に係る光導波回路の構成を示す平面図である。なお、この第11実施形態は、第1損失要素として、複数の溝122a～122nに充填された温度補償材料123a～123nが設けられるとともに、第2損失要素として、溝122a～122nの前段および後段に導波路間隙124a、124bがそれぞれ設けられ、さらに、溝122a～122nおよび導波路間隙124a、124bで分断されるアーム導波路121の幅が拡大された特性補償領域を、熱光学スイッチに組み込むようにしたものである。

【0121】

図13において、アーム導波路121には、幅広部121cおよび幅狭部121a、121eが設けられ、幅広部121cおよび幅狭部121a、121eは、テーパ部121b、121dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。そして、アーム導波路121には、幅広部121cを横切る幅W3の複数の溝122

$a \sim 122n$ が、それぞれ間隔 $d_{groove8}$ だけ空けて形成され、これらの溝 $121a \sim 121n$ は、アーム導波路 121 からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0122】

また、これらの溝 $121a \sim 121n$ には、アーム導波路 121 の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料 $121a \sim 121n$ がそれぞれ充填されている。

また、アーム導波路 121 の幅広部 $121c$ には、溝 $122a$ の前段に間隔 d_{gap81} だけ空けて、幅 W_{gap81} の導波路間隙 $124a$ が設けられるとともに、溝 $122n$ の後段に間隔 d_{gap82} だけ空けて、幅 W_{gap82} の導波路間隙 $124b$ が設けられ、導波路間隙 $124a$ 、 $124b$ は、アーム導波路 121 のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成することができる。

【0123】

また、導波路間隙 $124a$ 、 $124b$ の幅 W_{gap81} 、 W_{gap82} は、導波路間隙 $124a$ 、 $124b$ 全体での放射損失が、温度補償材料 $123a \sim 123n$ が充填された溝 $122a \sim 122n$ 全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝 $122a$ と導波路間隙 $124a$ の間隔 d_{gap81} は、導波路間隙 $124a$ を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 $122a$ に到達できるような距離に設定することができ、溝 $122n$ と導波路間隙 $124b$ の間隔 d_{gap82} は、溝 $122n$ を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 $124b$ に到達できるような距離に設定することができる。

【0124】

例えば、溝数は 12 、溝 $122a \sim 122n$ の幅 $W3$ はそれぞれ $25\mu m$ 、隣接する溝 $122a \sim 122n$ の間の間隔 $d_{groove8}$ はそれぞれ $20\mu m$ として、溝 $122a \sim 122n$ によって除去されるアーム導波路 121 の長さは、計 $300\mu m$ とすることができます、溝 $122a \sim 122n$ は、フォトリソグラフィおよび反応性エッチングによって形成することができる。

【0125】

また、アーム導波路 121 の比屈折率差は 1.5% 、幅狭部 $121a$ 、 $121n$

eのコア幅×コア厚は4.5 μm × 4.5 μm 、幅広部121cのコア幅×コア厚は9.0 μm × 4.5 μm 、導波路間隙124aの幅W_{gap81}は20 μm 、溝122aと導波路間隙124aとの間の間隔d_{gap81}は15 μm 、導波路間隙124bの幅W_{gap82}は20 μm 、溝122nと導波路間隙124bとの間の間隔d_{gap82}は15 μm とし、温度補償材料123a～123nとして、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0126】

この場合、図27の溝262a～262nが設けられた光導波路261の過剰損失が3.1 dBであるのに対し、図13の溝122a～122nおよび導波路間隙124a、124bに加え、幅広部121cが設けられたアーム導波路121の過剰損失の合計が2.1 dBとなり、図27の構成に比べて、過剰損失を1.0 dBだけ低減することができる。

【0127】

図14は、本発明の第12実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。なお、この第12実施形態は、第1損失要素として、溝137に充填された温度補償材料が設けられるとともに、第2損失要素として、溝137の前段および後段に導波路間隙138a、138bがそれぞれ設けられた特性補償領域136を、外部共振器型周波数安定化レーザに組み込むようにしたものである。

【0128】

図14において、シリコン基板131上には、石英系ガラスをクラッドおよびコアとする光導波路133が形成されるとともに、光導波路133には光誘起グレーティング134が設けられている。

また、光導波路133には、温度変化によるモードホップを抑制する特性補償領域136が設けられ、特性補償領域136には、光導波路133を横切る溝137が設けられ、溝137は、光導波路133からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0129】

また、溝137には、光導波路133の実効屈折率の温度係数と異なる符合の

屈折率温度係数を有する温度補償材料が充填されている。

また、特性補償領域136には、溝137の前段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙138aが設けられるとともに、溝137の後段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙138bが設けられ、これらの導波路間隙138a、138bは、光導波路133のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成することができる。

【0130】

また、シリコン基板131上には、クラッド層を除去することにより形成されたシリコンテラス135が設けられ、シリコンテラス135上には、半導体レーザ132が搭載されている。

そして、光導波路133を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙138aを通過した後、温度補償材料が充填された溝137を伝播し、さらに、導波路間隙138bを通過した後、再び光導波路133を伝播する。

【0131】

このため、溝137に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝137から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、外部共振器型周波数安定化レーザの温度変化によるモードホップを抑制しつつ、光導波路133を光波が伝播する際の過剰損失を減らすことが可能となる。

【0132】

図15は、本発明の第13実施形態に係る光導波回路の構成を示す平面図である。なお、この第13実施形態は、第1損失要素として、複数の溝142a～142nに充填された温度補償材料143a～143nが設けられるとともに、第2損失要素として、溝142a～142nの前段および後段に導波路間隙144a、144bがそれぞれ設けられ、さらに、溝142a～142nおよび導波路間隙144a、144bで分断される光導波路141の幅が拡大された特性補償領域を、外部共振器型周波数安定化レーザに組み込むようにしたものである。

【0133】

図15において、光導波路141には、幅広部141cおよび幅狭部141a

、141eが設けられ、幅広部141cおよび幅狭部141a、141eは、テープ部141b、141dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。そして、光導波路141には、幅広部141cを横切る幅W4の複数の溝142a～142nが、それぞれ間隔d_{groove9}だけ空けて形成され、これらの溝141a～141nは、光導波路141からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

【0134】

また、これらの溝142a～142nには、光導波路141の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料143a～143nがそれぞれ充填されている。

また、光導波路141の幅広部141cには、溝142aの前段に間隔d_{gap91}だけ空けて、幅W_{gap91}の導波路間隙144aが設けられるとともに、溝142nの後段に間隔d_{gap92}だけ空けて、幅W_{gap92}の導波路間隙144bが設けられ、これらの導波路間隙144a、144bは、光導波路141のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成することができる。

【0135】

また、導波路間隙144a、144bの幅W_{gap91}、W_{gap92}は、導波路間隙144a、144b全体での放射損失が、温度補償材料143a～143nが充填された溝142a～142n全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝142aと導波路間隙144aの間隔d_{gap91}は、導波路間隙144aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝142aに到達できるような距離に設定することができ、溝142nと導波路間隙144bの間隔d_{gap92}は、溝142nを通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙144bに到達できるような距離に設定することができる。

【0136】

例えば、溝数は12、溝142a～142nの幅W4はそれぞれ25μm、隣接する溝142a～142nの間の間隔d_{groove9}はそれぞれ20μmとして、溝142a～142nによって除去される光導波路141の長さは、計300μmとことができ、溝142a～142nは、フォトリソグラフィおよび反応

性エッティングによって形成することができる。

【0137】

また、光導波路141の比屈折率差は1.5%、幅狭部141a、141eのコア幅×コア厚は $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、幅広部141cのコア幅×コア厚は $9.0\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、導波路間隙144aの幅W_{gap91}は $20\mu\text{m}$ 、溝142aと導波路間隙144aとの間の間隔d_{gap91}は $15\mu\text{m}$ 、導波路間隙144bの幅W_{gap92}は $20\mu\text{m}$ 、溝142nと導波路間隙144bとの間の間隔d_{gap92}は $15\mu\text{m}$ とし、温度補償材料143a～143nとして、シリコーン樹脂を用いることができる。

【0138】

この場合、図27の溝262a～262nが設けられた光導波路261の過剰損失が3.1dBであるのに対し、図15の溝142a～142nおよび導波路間隙144a、144bに加え、幅広部141cが設けられた光導波路141の過剰損失の合計が2.1dBとなり、図27の構成に比べて、過剰損失を1.0dBだけ低減することができる。

【0139】

図16は、本発明の第14実施形態に係る光導波回路の構成を示す平面図である。なお、第14実施形態は、光導波路の交差部の前段および後段に、ダミー導波路を交差させるようにしたものである。

図16において、石英系ガラスをクラッドおよびコアとする光導波路151、152が交差するように配置されている。ここで、光導波路151、152の交差角 α は、プレーナ光波回路全体のレイアウトに依存して設定することができる。また、光導波路151、152の交差部の前段および後段には、光導波路151と交差するようにして、ダミー導波路153、154がそれぞれ配置されている。

【0140】

ここで、ダミー導波路153、154の幅は、ダミー導波路153、154と光導波路151との交差部全体での放射損失が、光導波路151、152の交差部での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、光導波路1

51、152の交差部と、光導波路151とダミー導波路153の交差部との間の間隔 d_1 は、光導波路151とダミー導波路153の交差部を通過した光波が完全に放射に転じる前に光導波路151、152の交差部に到達できるような距離に設定することができ、光導波路151、152の交差部と、光導波路151とダミー導波路154の交差部との間の間隔 d_2 は、光導波路151、152の交差部を通過した光波が完全に放射に転じる前に光導波路151とダミー導波路154の交差部に到達できるような距離に設定することができる。

【0141】

例えば、光導波路151、152の交差角 α は 15° 、光導波路151、152およびダミー導波路153、154の比屈折率差は1.5%、光導波路151、152のコア幅×コア厚は $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、ダミー導波路153、154のコア幅×コア厚は $1.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、光導波路151、152の交差部と、光導波路151とダミー導波路153の交差部との間の間隔 d_1 は $25\mu\text{m}$ 、光導波路151、152の交差部と、光導波路151とダミー導波路154の交差部との間の間隔 d_2 は $25\mu\text{m}$ とすることができる。

【0142】

そして、光導波路151を導波する光は、放射損失を伴いつつ、光導波路151とダミー導波路153の交差部を通過した後、光導波路151、152の交差部を通過し、さらに、光導波路151とダミー導波路154の交差部を通過した後、再び光導波路151を伝播する。

このため、光導波路151、152の交差部の前段にダミー導波路153を設けることにより、光導波路151、152の交差部に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することができるとともに、光導波路151、152の交差部の後段にダミー導波路153を設けることにより、光導波路151、152の交差部から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することができる、交差部が設けられた光導波路151を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

【0143】

例えば、図32の光導波路291、292の交差部での過剰損失が0.034

d Bであるのに対し、図16のダミー導波路153、154が設けられた光導波路151の交差部での過剰損失の合計が0.023dBとなり、図32の構成に比べて、過剰損失を0.011dBだけ低減することができる。

なお、上述した実施形態では、単一導波路、アレイ導波路回折格子、熱光学スイッチ、外部共振器型周波数安定化レーザ、交差導波路を例にとって説明したが、本発明はこれらの光導波回路に限定されることなく、他の様々な光導波回路に適用することが可能である。

【0144】

例えば、光導波路の一部が除去されて形成され、雰囲気中に開口されている溝、光導波路の一部が除去されて形成され、シリコーン樹脂などの材料が充填された溝、光導波路の一部が除去されて形成され、薄膜フィルタなど任意の特性を有する光学材料および部品が挿入された溝、光導波路の一部が除去されて形成され、薄膜フィルタなど任意の特性を有する光学材料および部品が挿入されるとともに、接着剤などの材料が充填された溝、あるいは、他の光導波路との交差など、伝播する光波に放射損失を生じさせる損失要素を光導波路上に有する光導波回路全般に適用することができる。

【0145】

また、上述した実施形態では、光導波路の比屈折率差、コア幅およびコア厚などを特定の値に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

また、上述した第1～第13実施形態では、第2損失要素が導波路間隙である場合を例にとって説明したが、第2損失要素は必ずしも導波路間隙である必要はなく、例えば、導波路交差などの他の様々な損失要素を用いることができ、高比屈折率差光導波路と低比屈折率差光導波路とを結合させるようにしてもよい。

【0146】

また、上述した第1～第13実施形態では、溝の本数および幅、隣接する溝の間隔、導波路間隙の個数および幅、隣接する導波路間隙の間隔、隣接する溝と導波路間隙の間隔などを特定の値に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

また、上述した第4、第6、第9、第11および第13実施形態では、導波路損失部のコア幅を大きくする方法について説明したが、導波路損失部のコア厚を大きくしたり、導波路損失部のコア幅およびコア厚の双方を大きくしたり、導波路損失部のコア幅を小さくしたり、導波路損失部のコア厚を小さくしたり、導波路損失部のコア幅およびコア厚の双方を小さくしたりしてもよい。

【0147】

また、上述した第7～第9実施形態では、アレイ導波路回折格子のパラメータを特定の値に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

また、上述した第11実施形態では、第2損失要素が導波路交差である場合を例にとって説明したが、第2損失要素は必ずしも導波路交差である必要はなく、例えば、導波路間隙などの他の様々な損失要素を用いることができる。

【0148】

また、上述した第11実施形態では、隣接する導波路交差の間隔を特定の値に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

また、上述した第11実施形態では、光導波路151、152の交差角 α を45°、光導波路151とダミー導波路153の交差角を90°、光導波路151とダミー導波路154の交差角を90°に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

【0149】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素を光導波路に設けることにより、第1損失要素に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大して、第1損失要素における光波の放射角を小さくすることができ、光導波路を光が伝搬する際の過剰損失を低減させることができが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1(a)は、本発明の第1実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図

1 (b) は、図1 (a) のA 1-A 1線で切断した断面図である。

【図2】

図2 (a) は、図1 (a) のB 1-B 1線で切断した断面図、図2 (b) は、図1 (a) のC 1-C 1線で切断した断面図、図1 (a) のD 1-D 1線で切断した断面図である。

【図3】

図3 (a) は、本発明の第2実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図3 (b) は、図3 (a) のA 2-A 2線で切断した断面図である。

【図4】

図4 (a) は、本発明の第3実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図4 (b) は、図4 (a) のA 3-A 3線で切断した断面図である。

【図5】

図5 (a) は、本発明の第4実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図5 (b) は、図5 (a) のA 4-A 4線で切断した断面図である。

【図6】

図6 (a) は、図5 (a) のB 4-B 4線で切断した断面図、図6 (b) は、図5 (a) のC 4-C 4線で切断した断面図である。

【図7】

図7 (a) は、本発明の第5実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図7 (b) は、図7 (a) のA 5-A 5線で切断した断面図である。

【図8】

図8 (a) は、本発明の第6実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図8 (b) は、図8 (a) のA 6-A 6線で切断した断面図である。

【図9】

本発明の第7実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。

【図10】

本発明の第8実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

【図11】

本発明の第9実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

【図12】

本発明の第10実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。

【図13】

本発明の第11実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

【図14】

本発明の第12実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。

【図15】

本発明の第13実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

【図16】

本発明の第14実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

【図17】

従来のアレイ光導波路回折格子の構成を示す平面図である。

【図18】

図17のA7-A7線で切断した断面図である。

【図19】

従来の熱光学スイッチの構成を示す平面図である。

【図20】

図19のA8-A8線で切断した断面図である。

【図21】

従来の外部共振器型周波数安定化レーザの構成を示す斜視図である。

【図22】

従来の温度補償化されたアレイ光導波路回折格子の構成を示す平面図である。

【図23】

図22の光導波路を1本分について示す平面図である。

【図24】

図22の光導波路を拡大して示す平面図である。

【図25】

図25(a)は、図23のA9-A9線で切断した断面図、図25(b)は、図23のA10-A10線で切断した断面図である。

【図26】

図22の光導波路のその他の例を示す平面図である。

【図27】

図26の光導波路を1本分について示す平面図である。

【図28】

従来のポリマーアシテッド熱光学スイッチの構成を示す平面図である。

【図29】

図19のA11-A11線で切断した断面図である。

【図30】

従来のモードホップが抑制化された外部共振器型周波数安定化レーザの構成を示す斜視図である。

【図31】

図31(a)は、図30のA12-A12線で切断した断面図、図31(b)は、図30のA13-A13線で切断した断面図である。

【図32】

従来の交差型光導波路の構成を示す平面図である。

【図33】

溝により除去された導波路の長さと放射損失との関係を示す図である。

【符号の説明】

- 1、11、21、31、41、51、61、101、131 シリコン基板
- 2、12、22、32、42、52 クラッド層
- 3、13、23、33、43、53、64、121、133、141、151
- 、152 光導波路
- 4、14、24、34、44a～44d、54a～54d、82a～82e、92a～92e、122a～122e、142a～142e 溝
- 5、15、25、35、45a～45d、55a～55d、70、83a～83e、93a～93e、110、123a～123e、137、143a～143e 温度補償材料
- 6、16a、16b、26a～26f、36a、36b、46a、46b、5

6 a、56 b、71 a、71 b、84 a、84 b、94 a、94 b、111 a、
111 b、124 a、124 b、138 a、138 b、144 a、144 b 導
波路間隙

33 c、53 c、91 c、121 c、141 c 幅広部

33 a、33 e、53 a、53 e、91 a、91 e、121 a、121 e、1
41 a、141 e 幅細部

33 b、33 d、53 b、53 d、91 b、91 d、121 b、121 d、1
41 b、141 d テーパ部

62 a、102 a、102 b 入力導波路

62 b、106 a、106 b 出力導波路

63 a 入力側スラブ導波路

63 b 出力側スラブ導波路

65 a、65 b 光ファイバ

66 a、66 b 光ファイバコネクタ

67 a、67 b 光ファイバ接続部品

68 回路ケース

69、109、136 特性補償領域

81、91 光導波路群

103、105 方向性結合器

104 a、104 b アーム導波路

107 薄膜ヒータ

108 a、108 b 配線

132 半導体レーザ

134 光誘起グレーティング

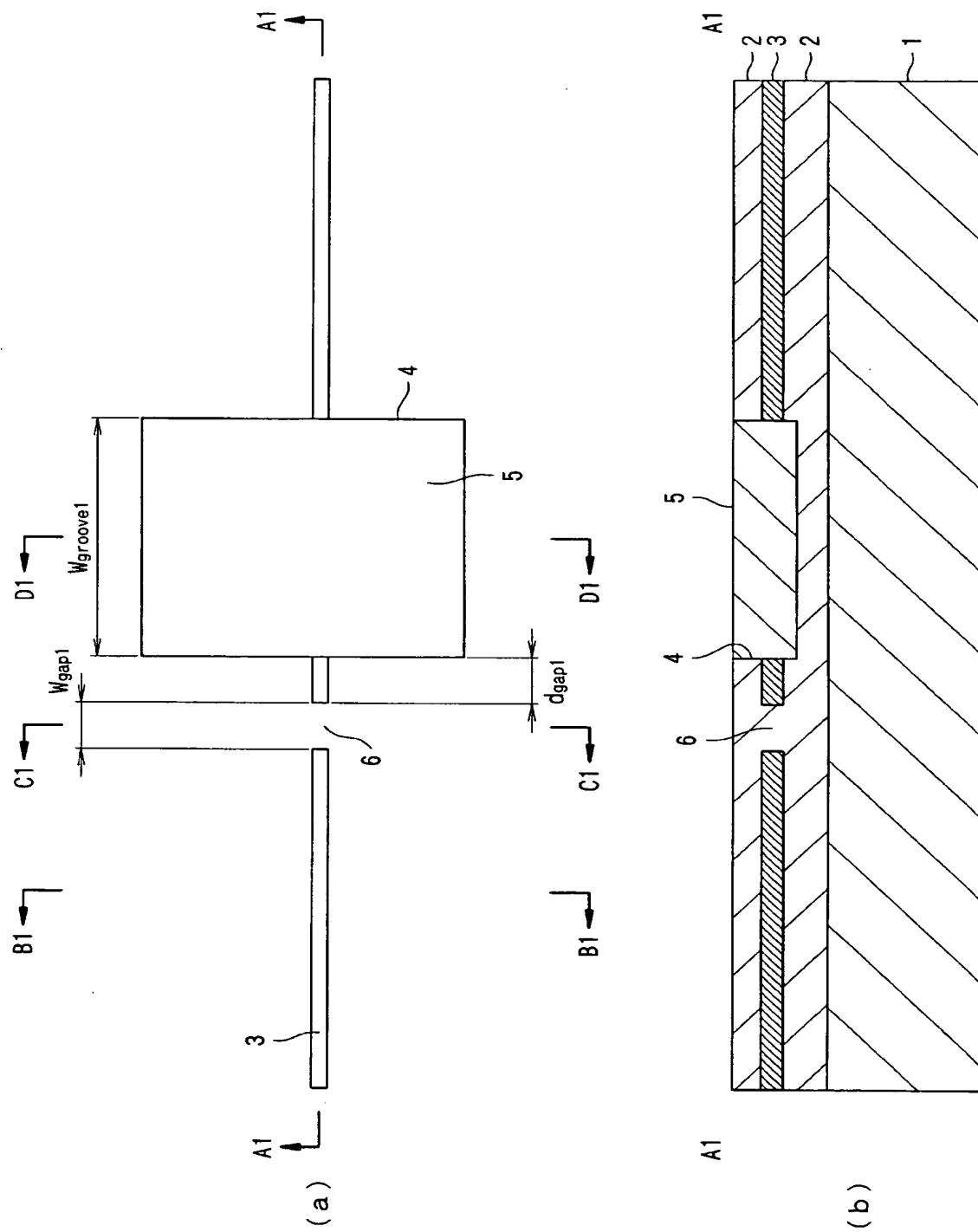
135 シリコンテラス

153、154 ダミー導波路

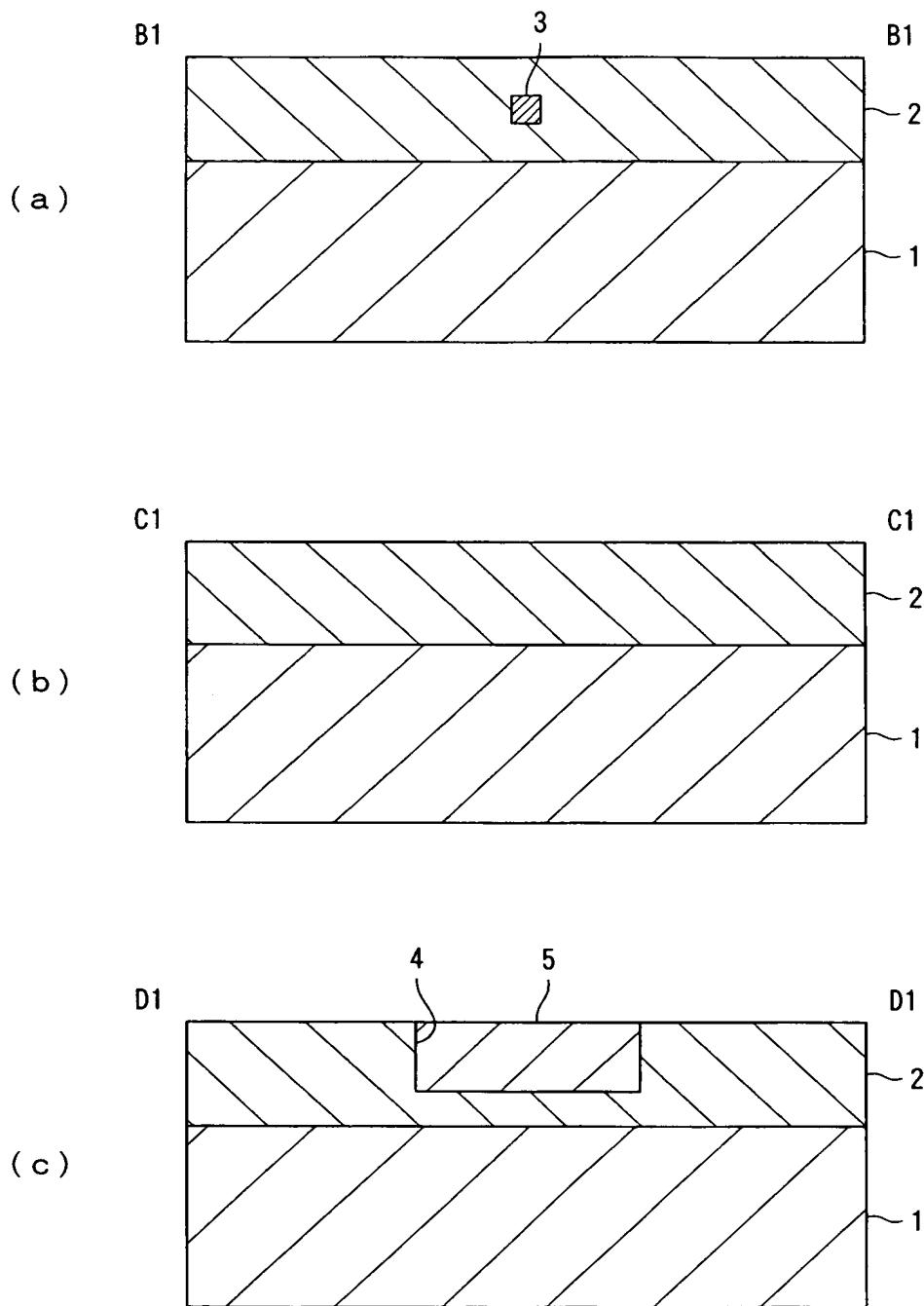
【書類名】

図面

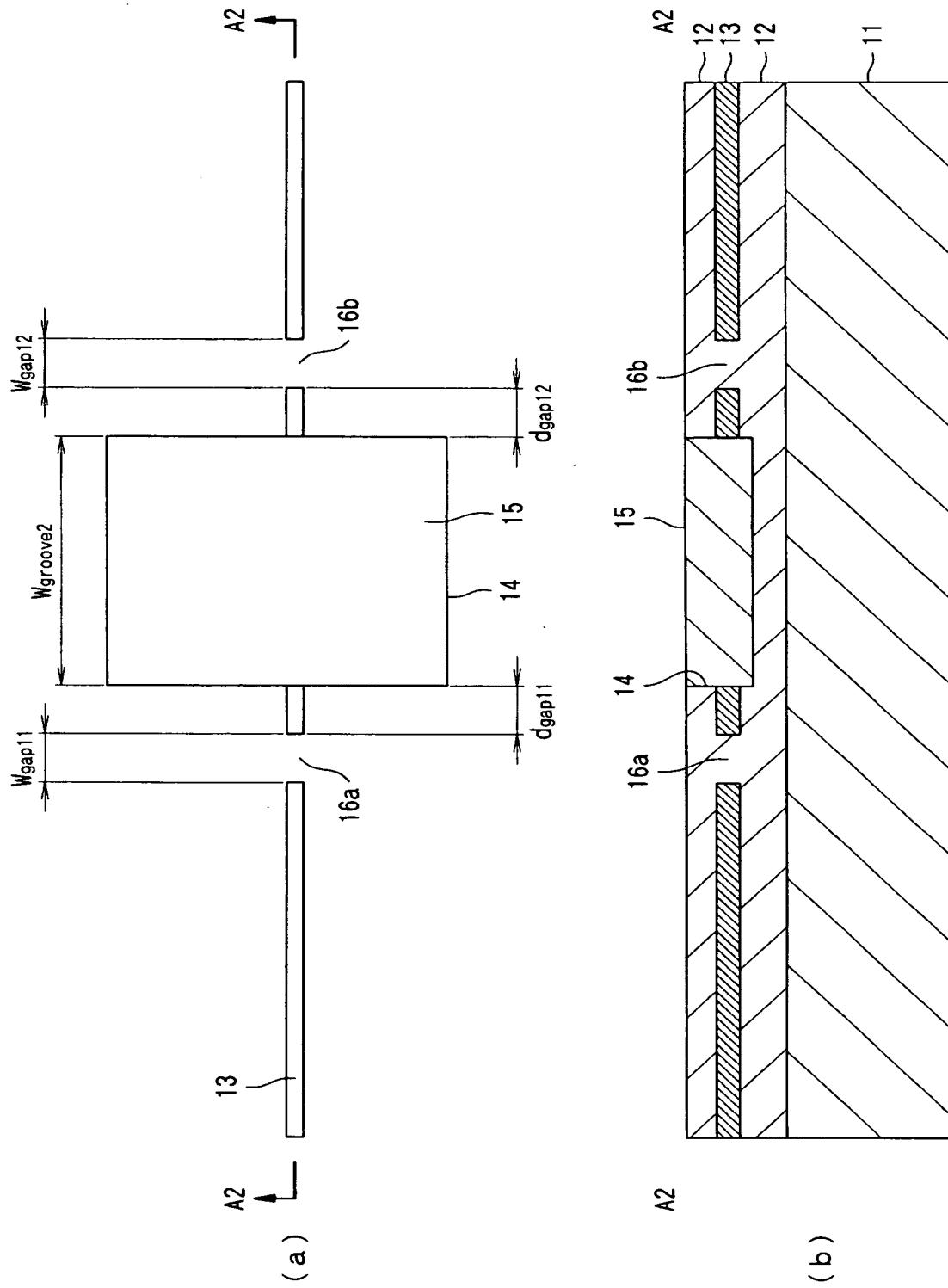
【図1】



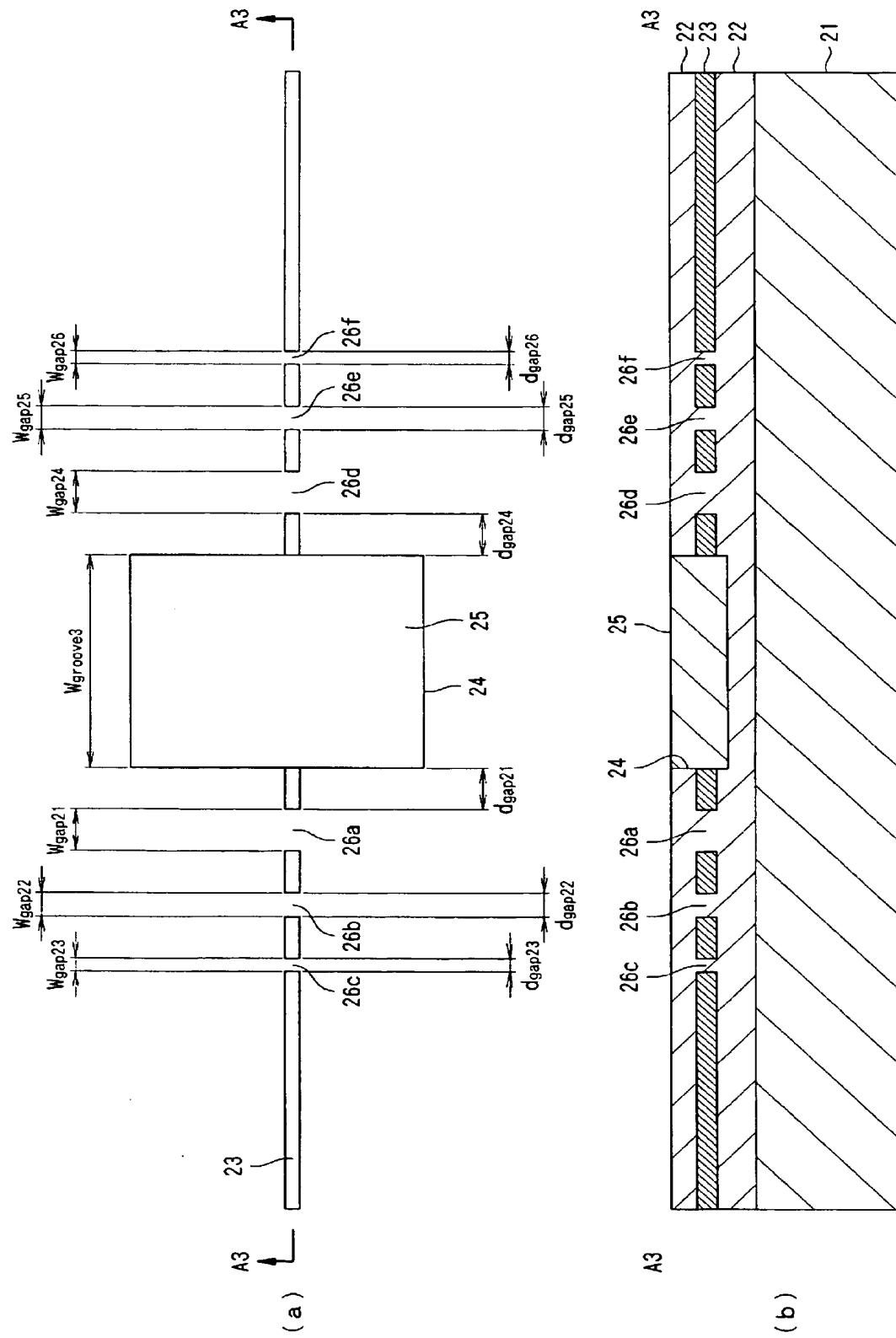
【図2】



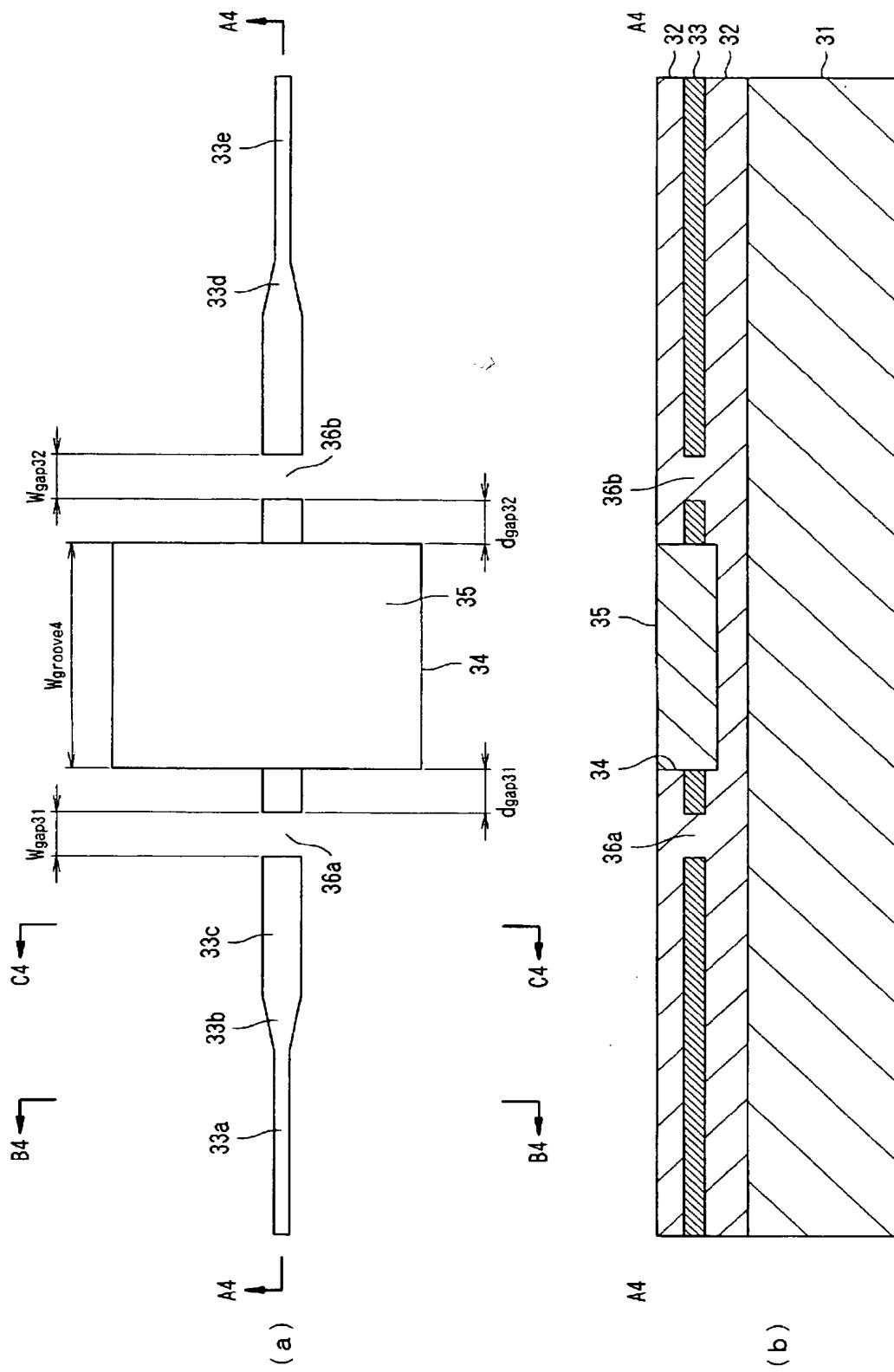
【図3】



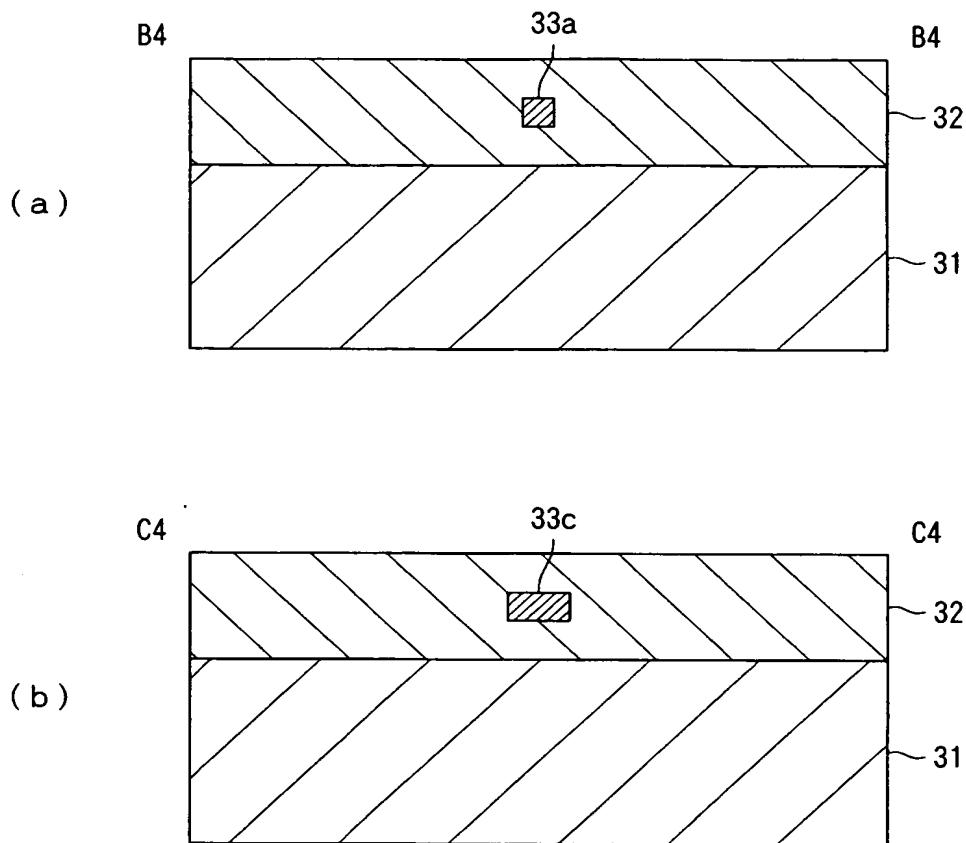
【図4】



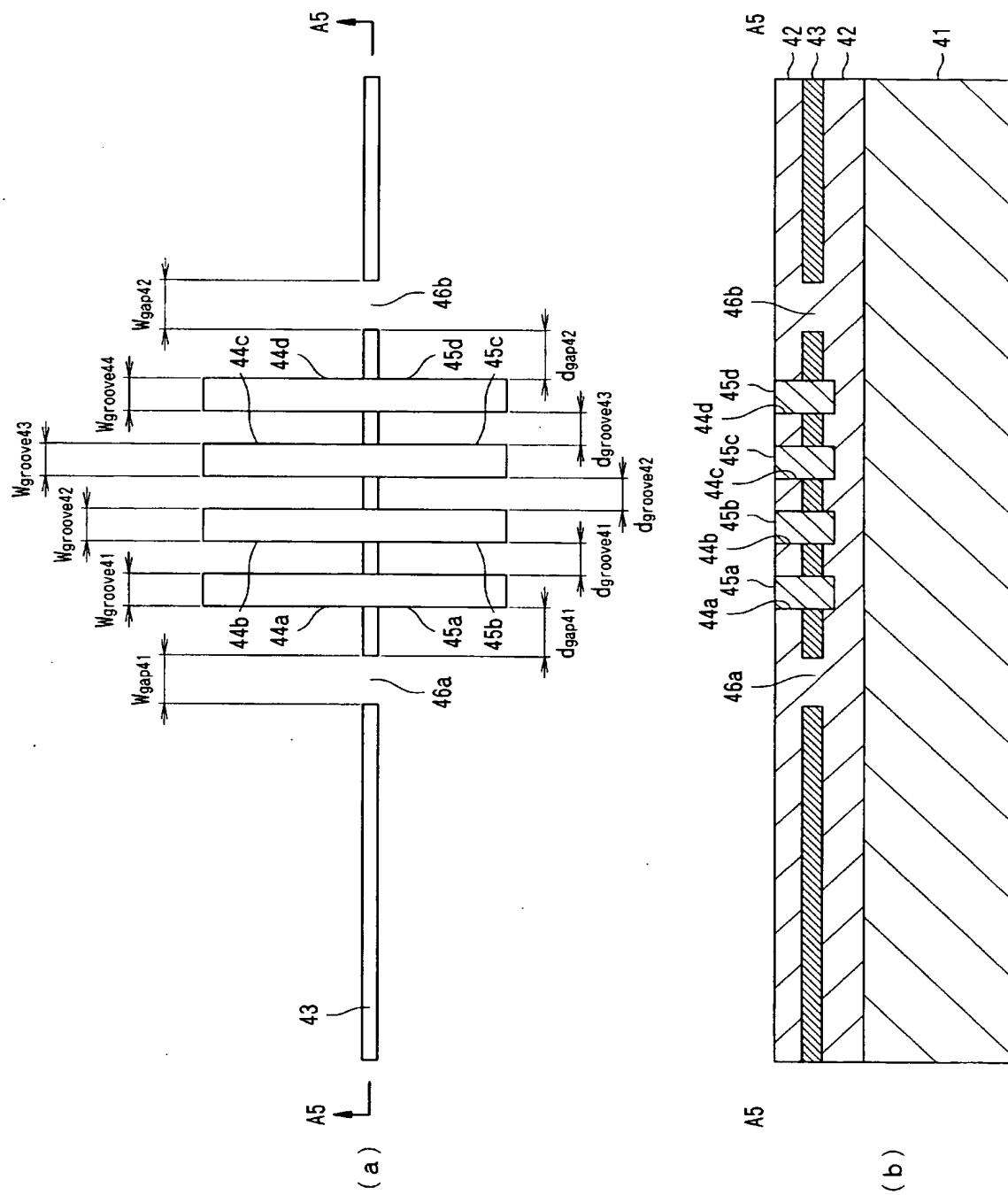
【図5】



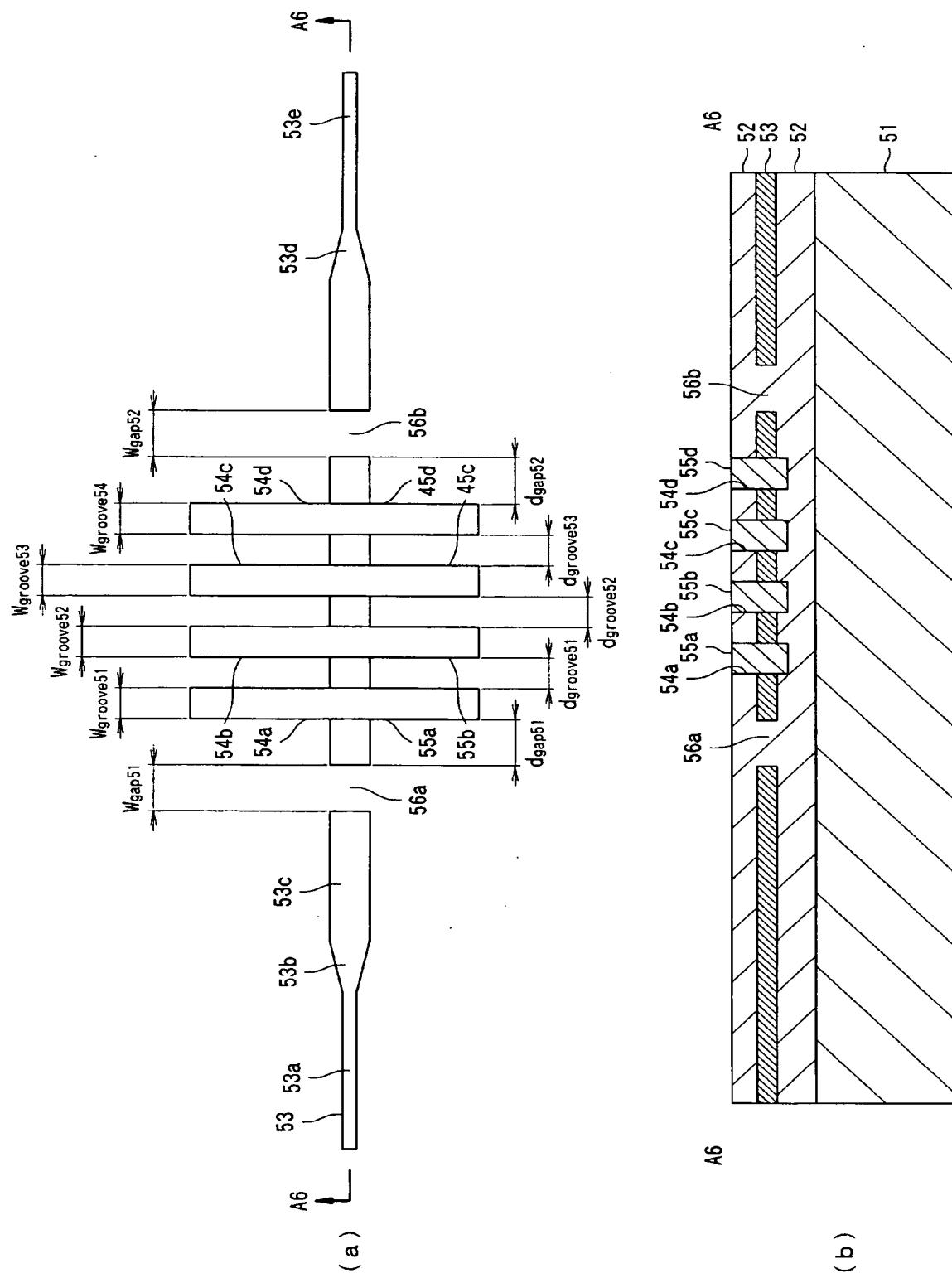
【図6】



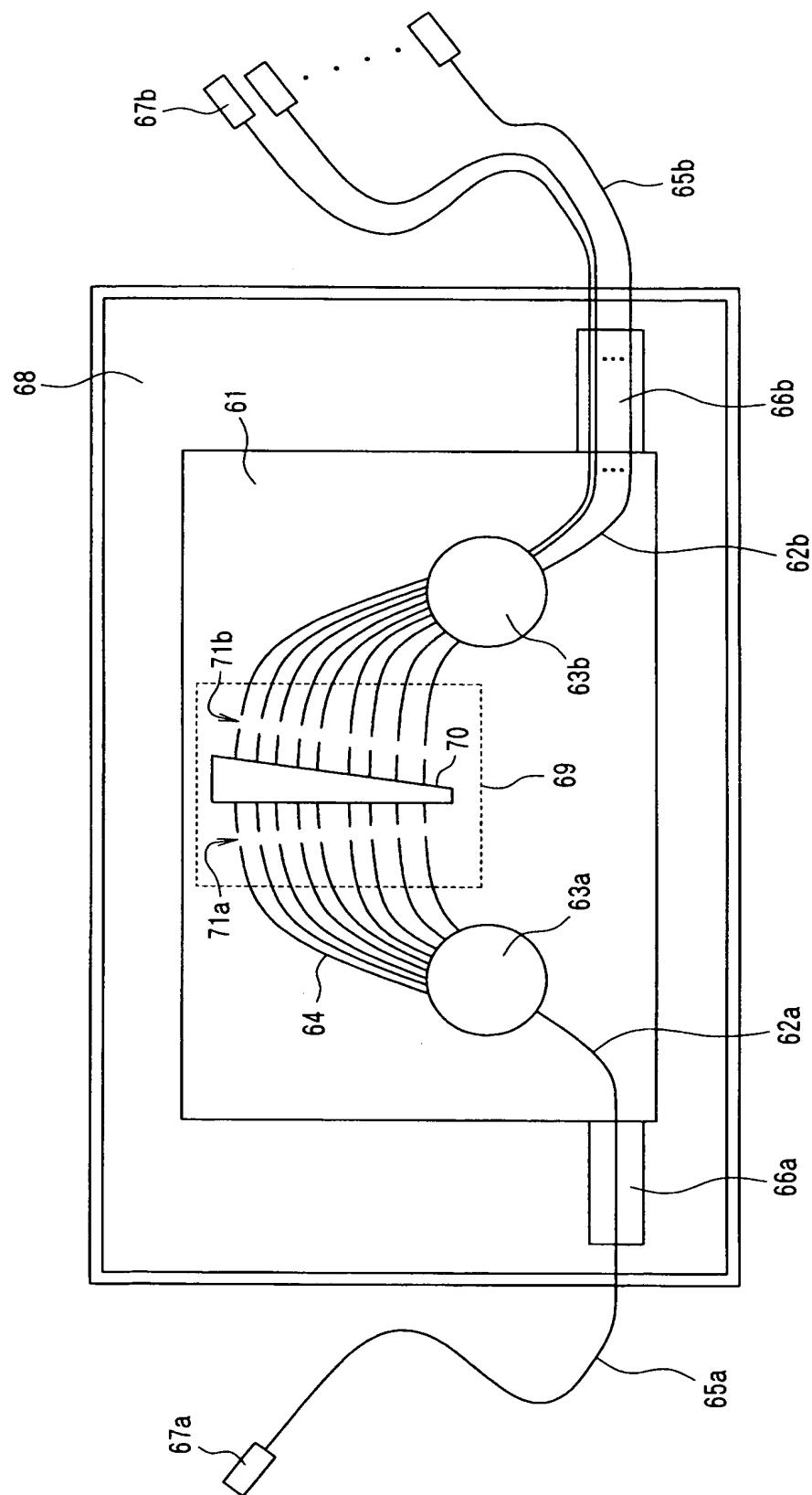
【図7】



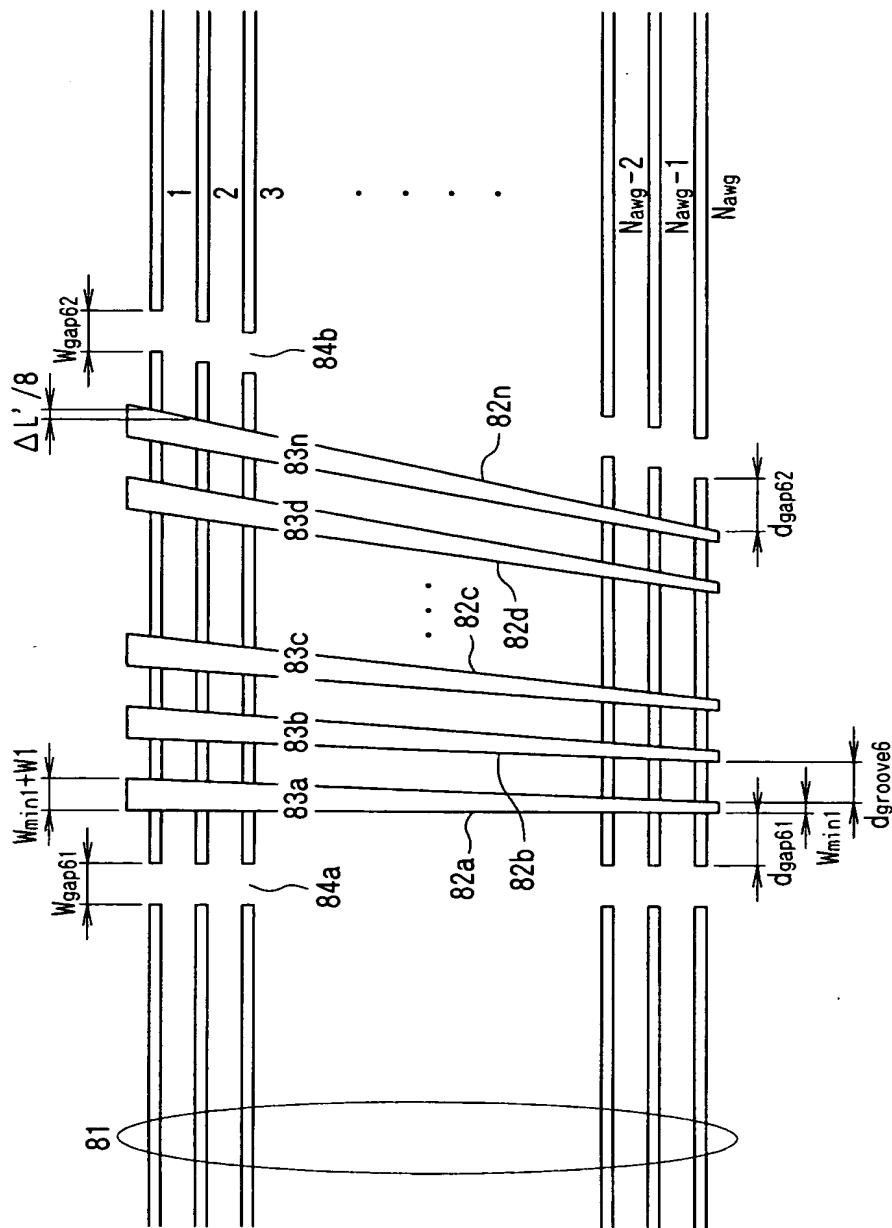
【図8】



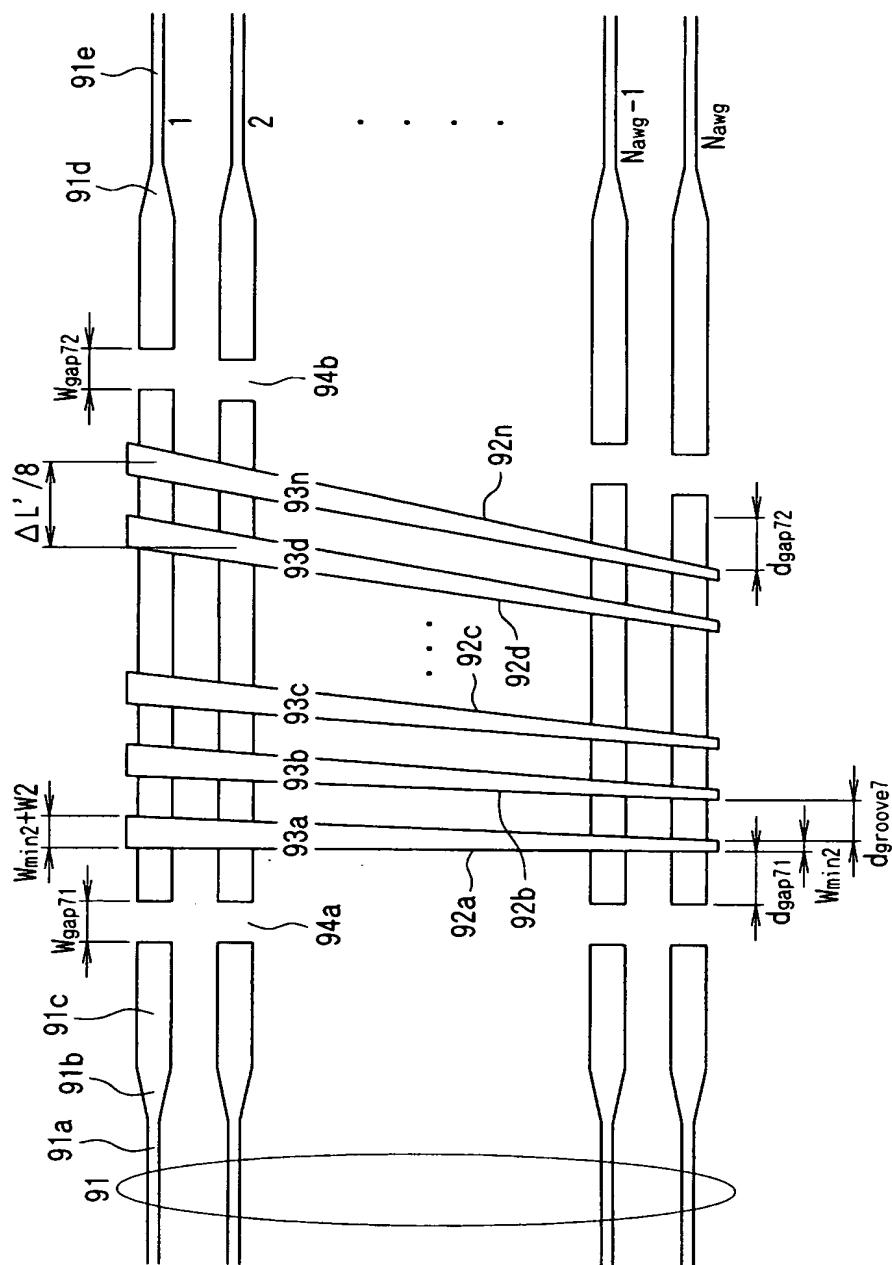
【図9】



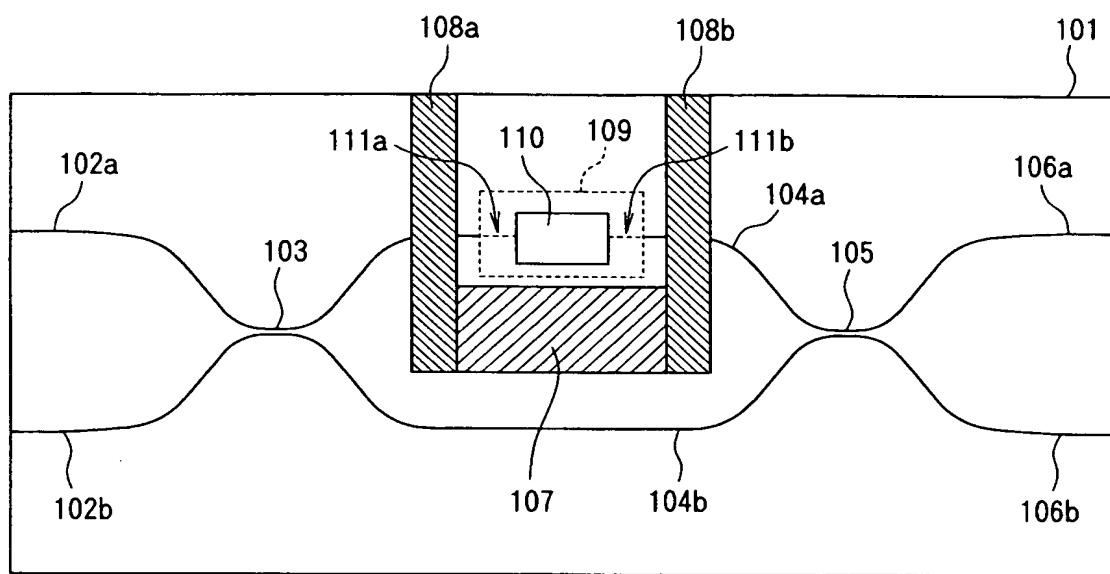
【図10】



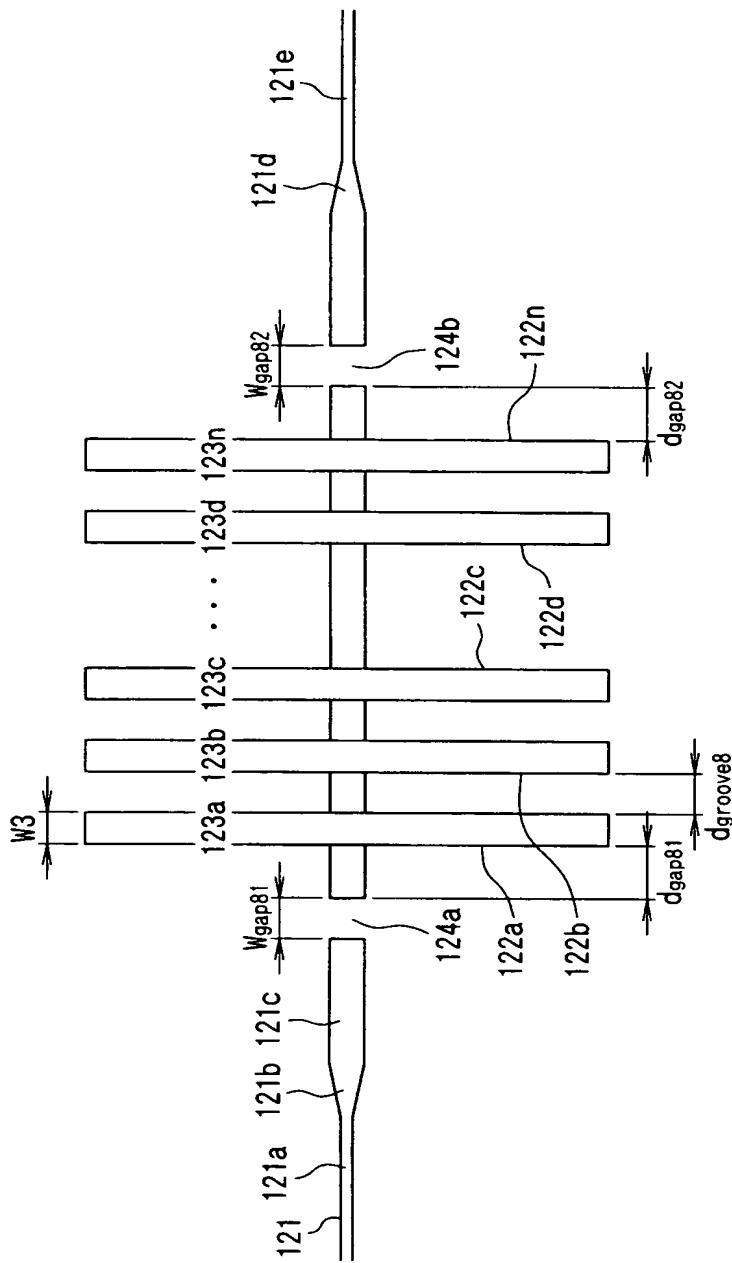
【図11】



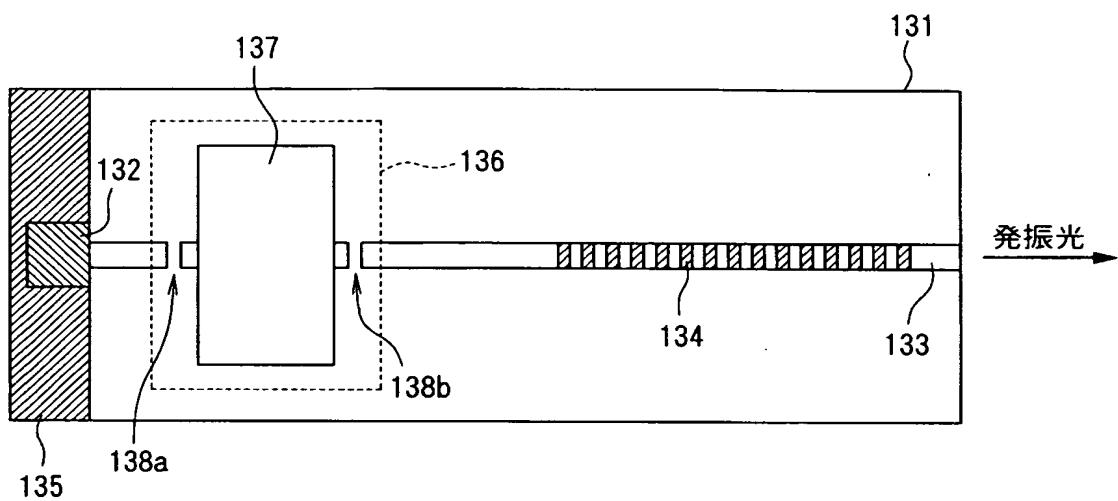
【図12】



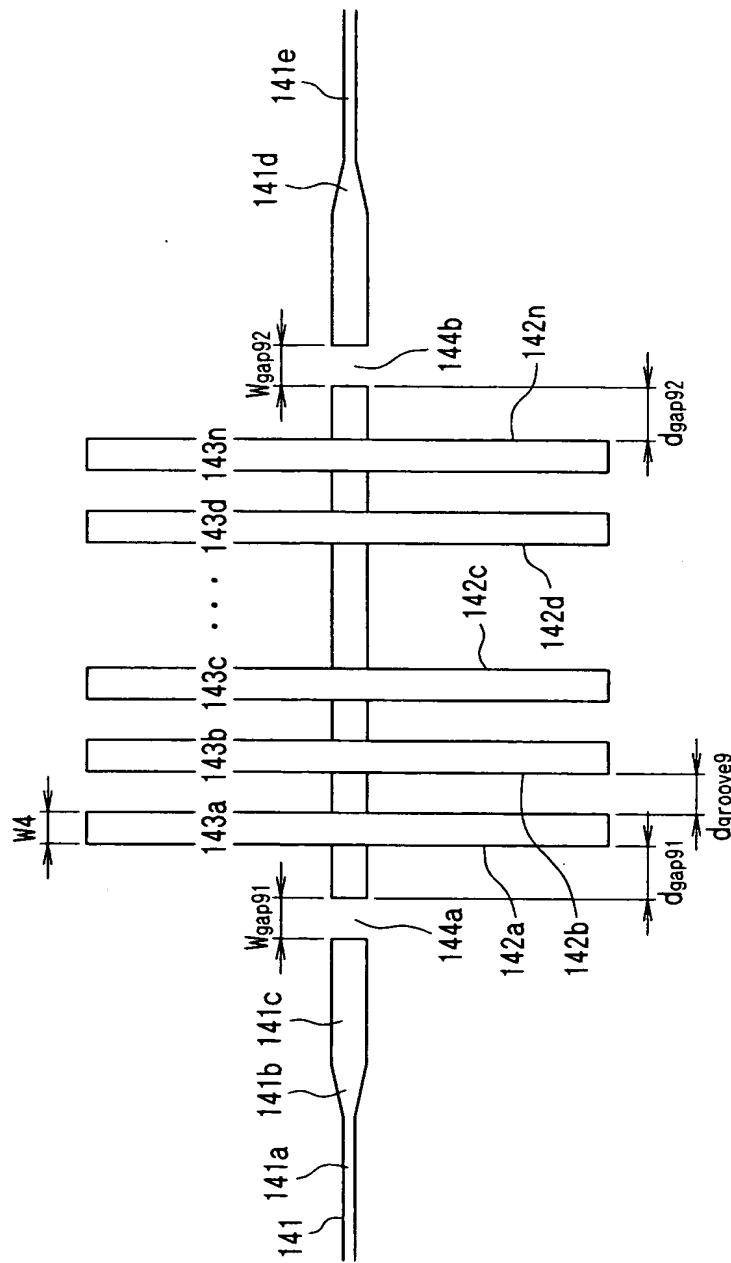
【図13】



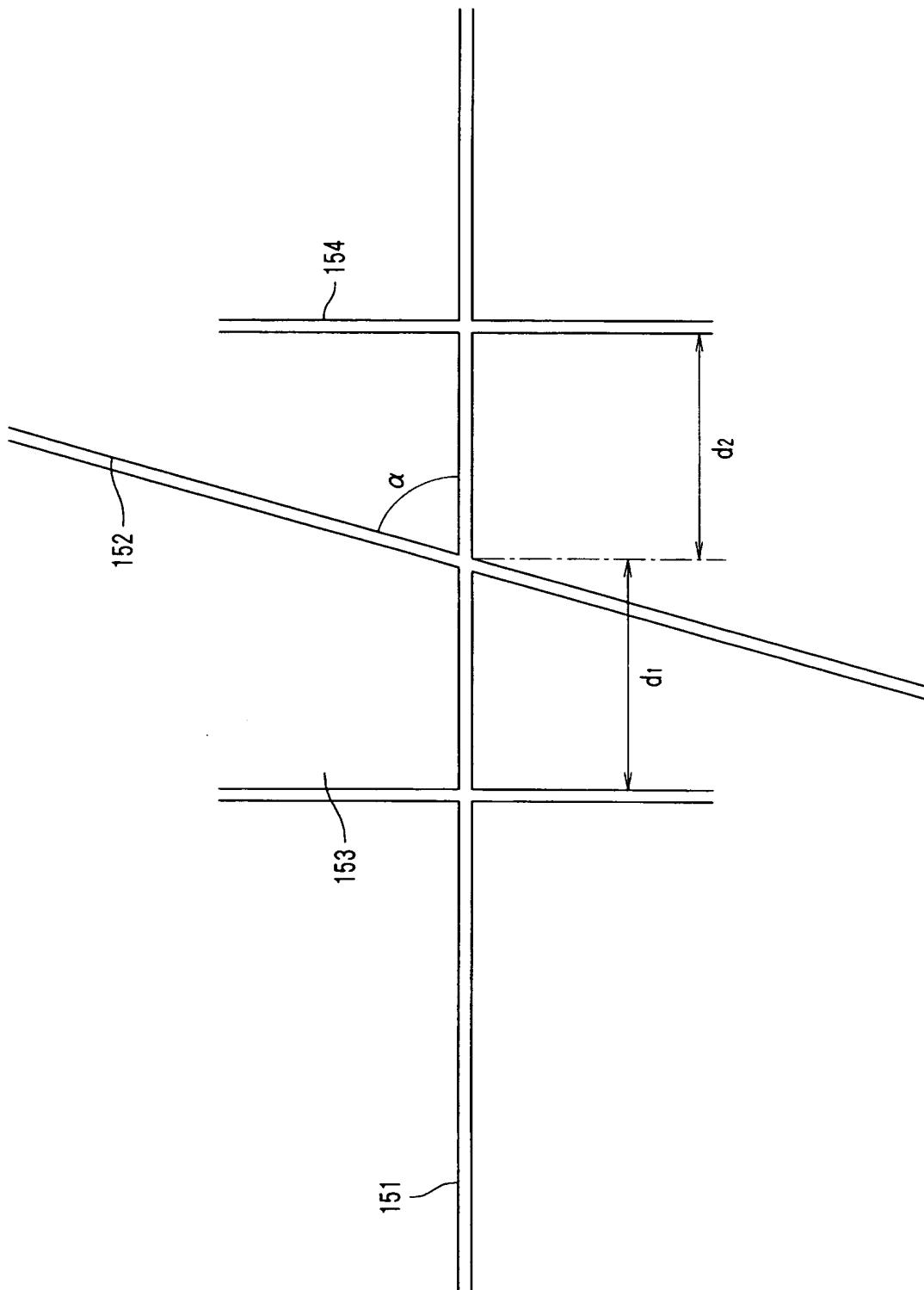
【図 1.4】



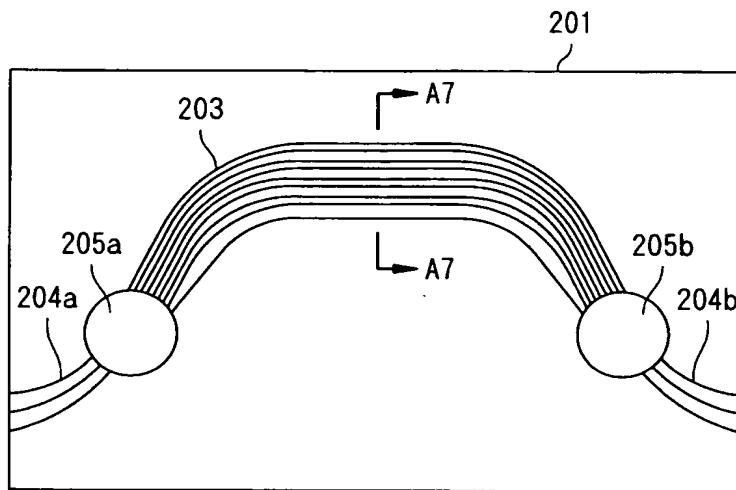
【図15】



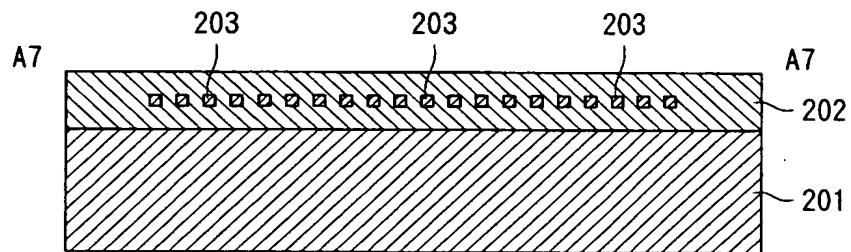
【図16】



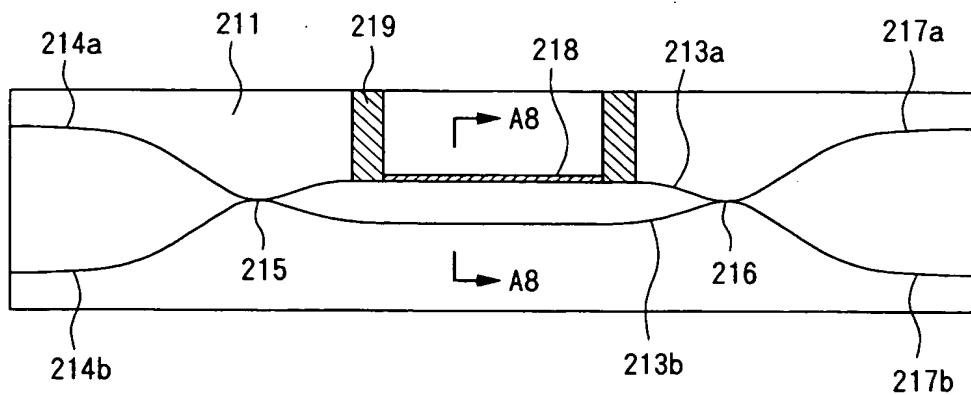
【図17】



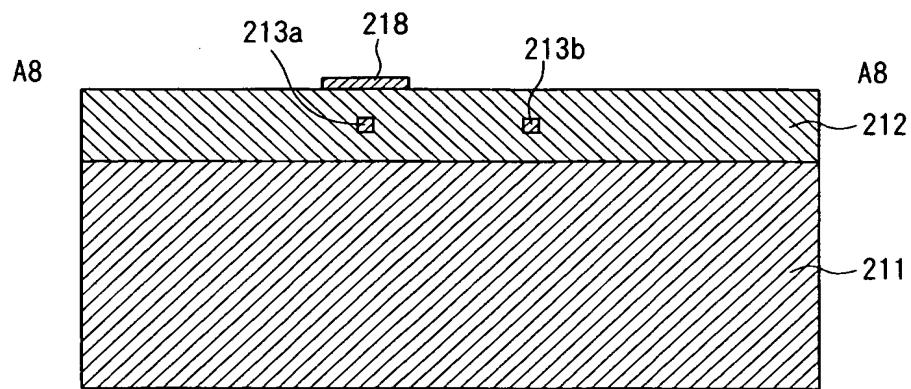
【図18】



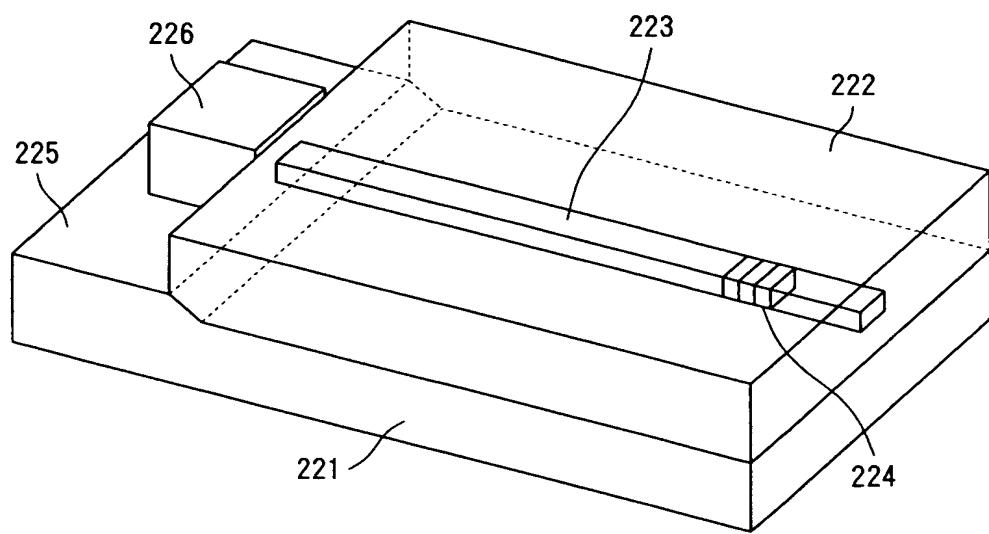
【図19】



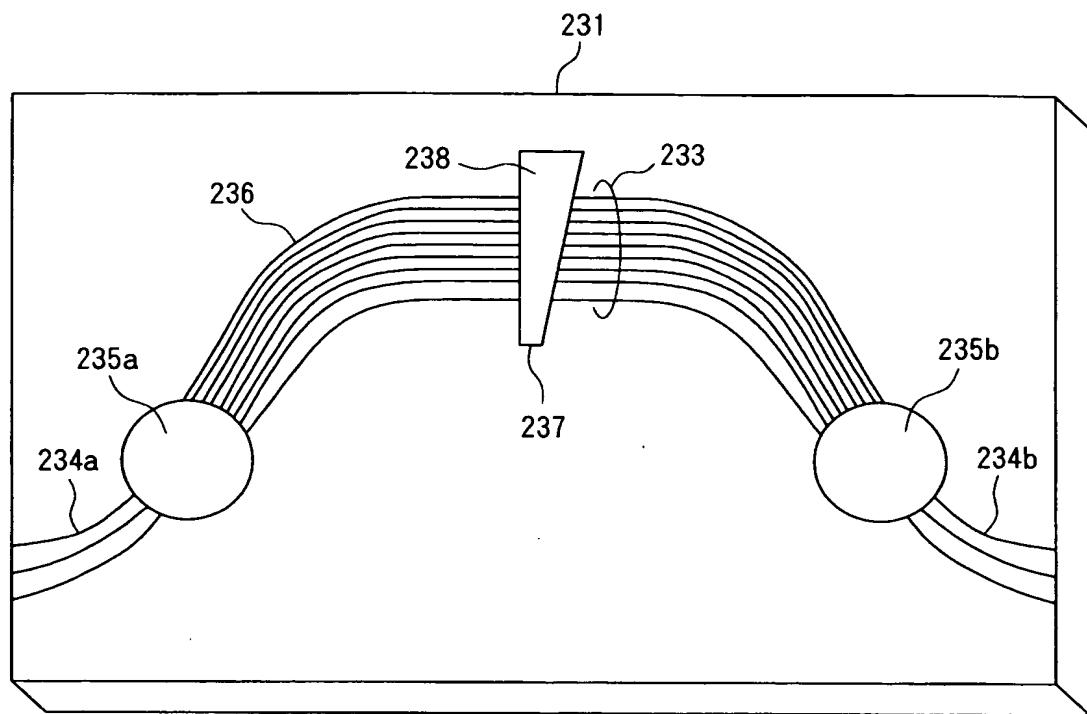
【図 20】



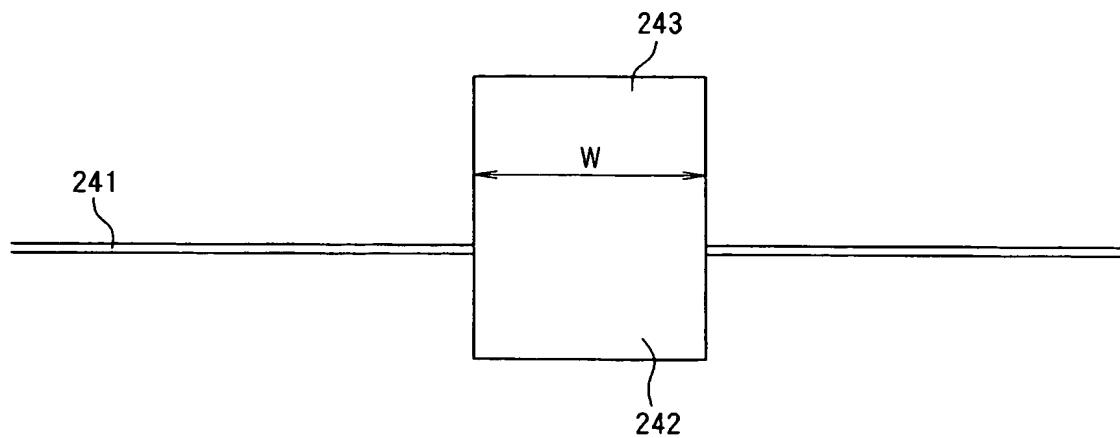
【図 21】



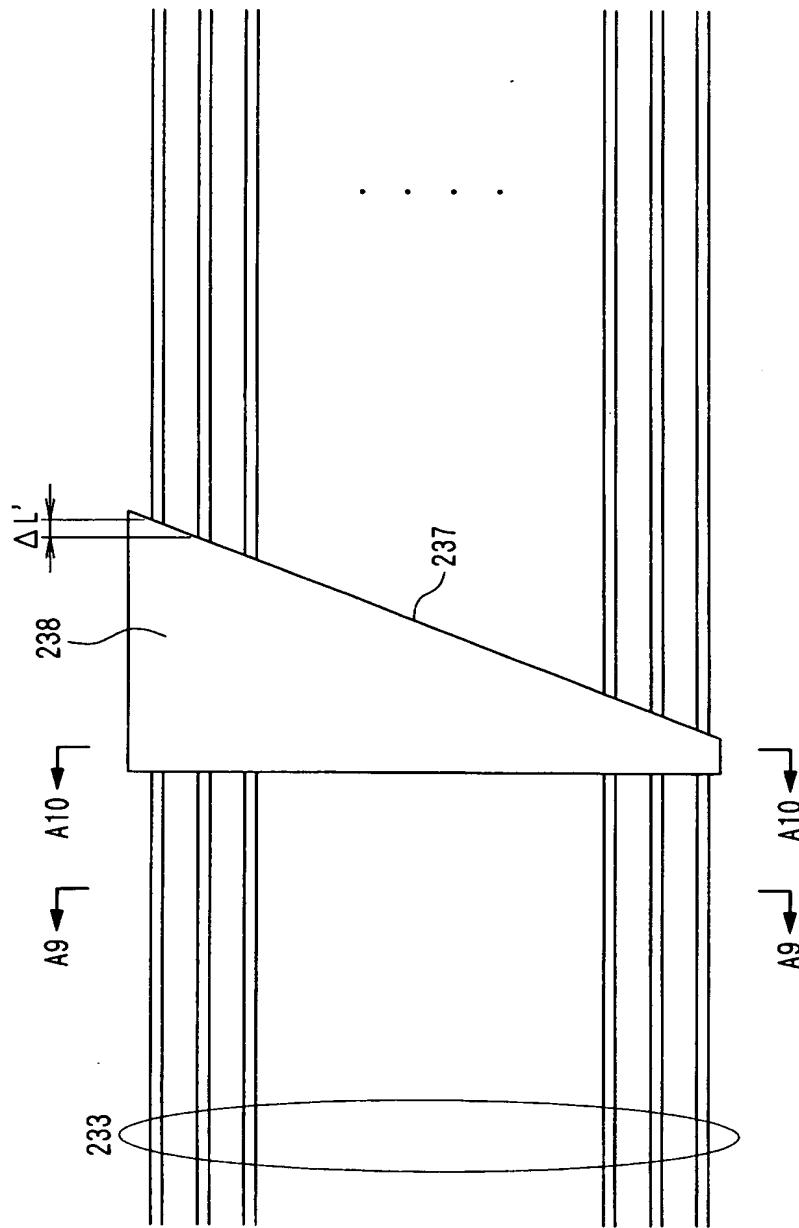
【図22】



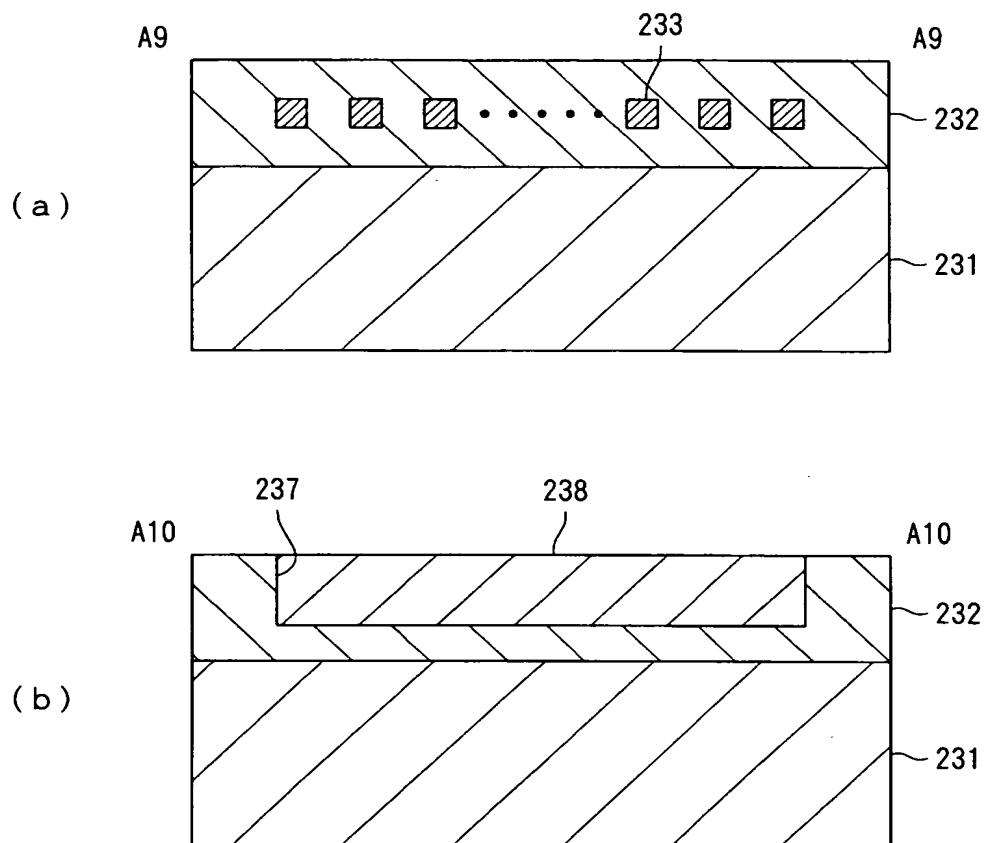
【図23】



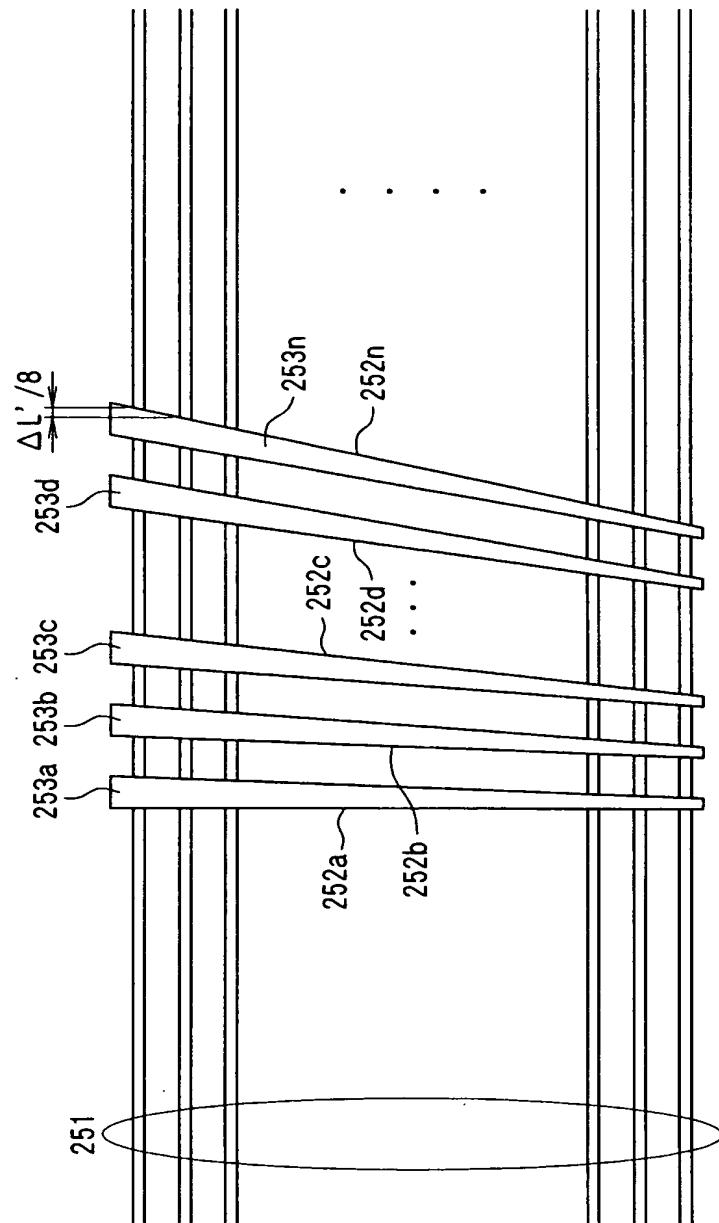
【図24】



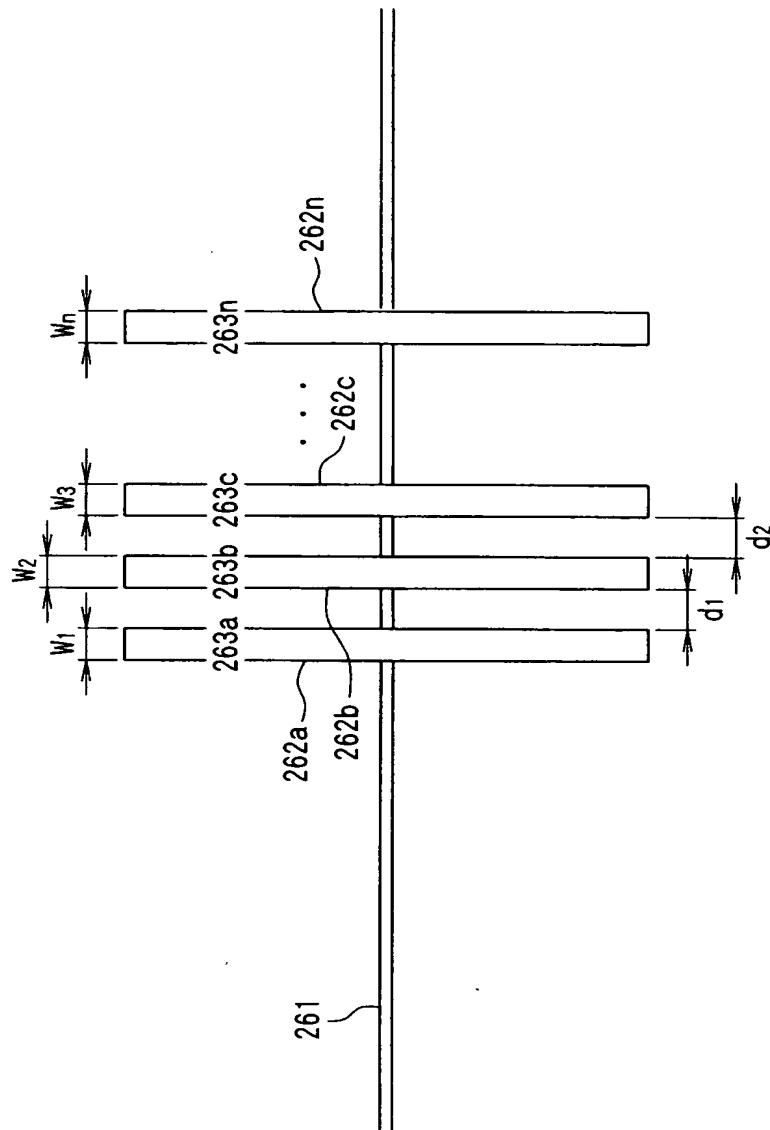
【図25】



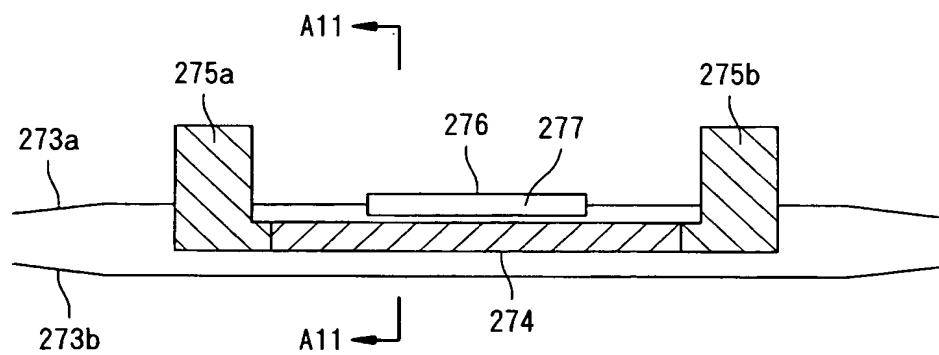
【図26】



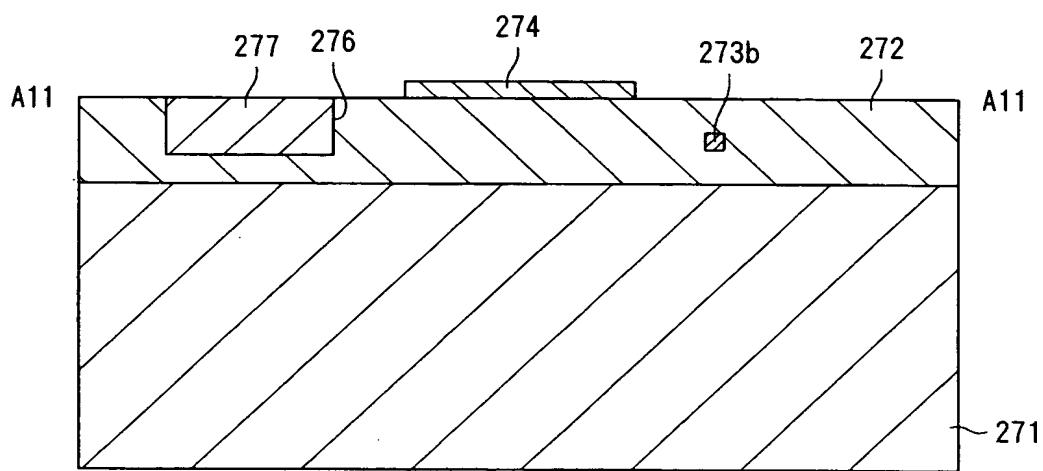
【図27】



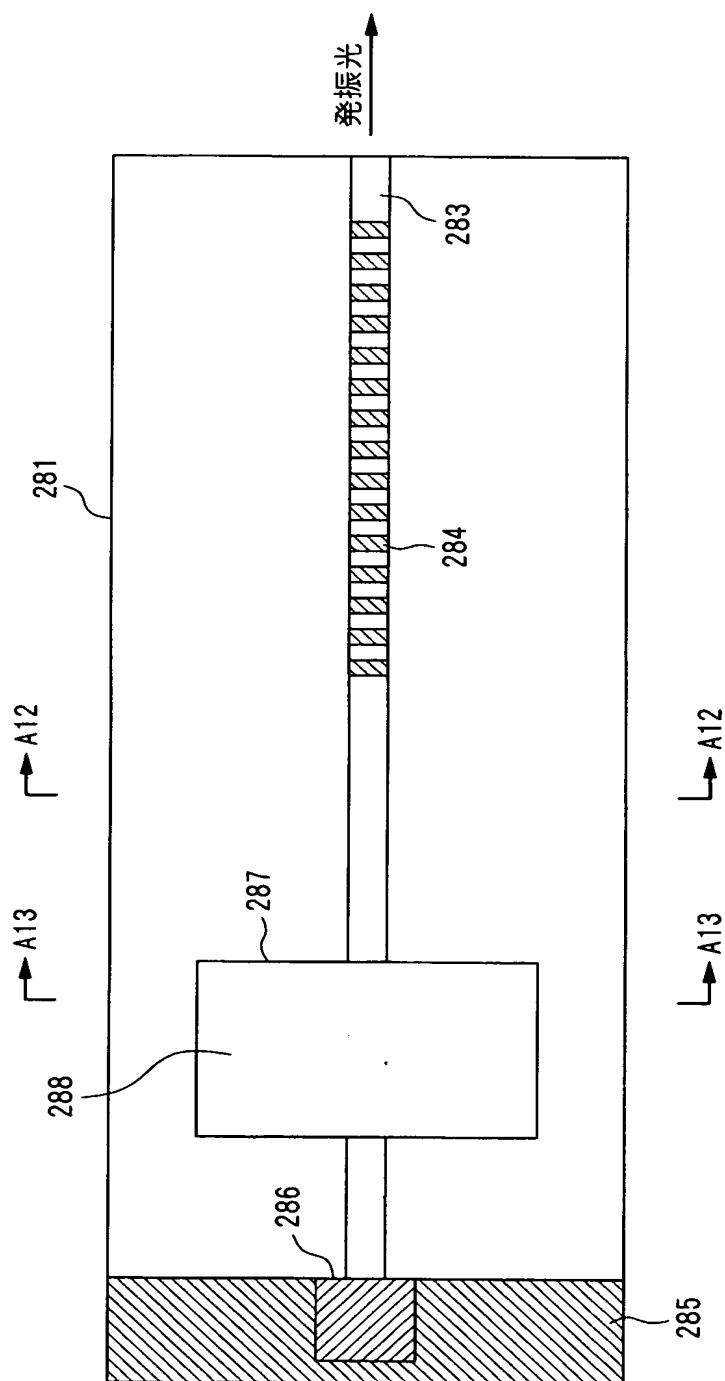
【図28】



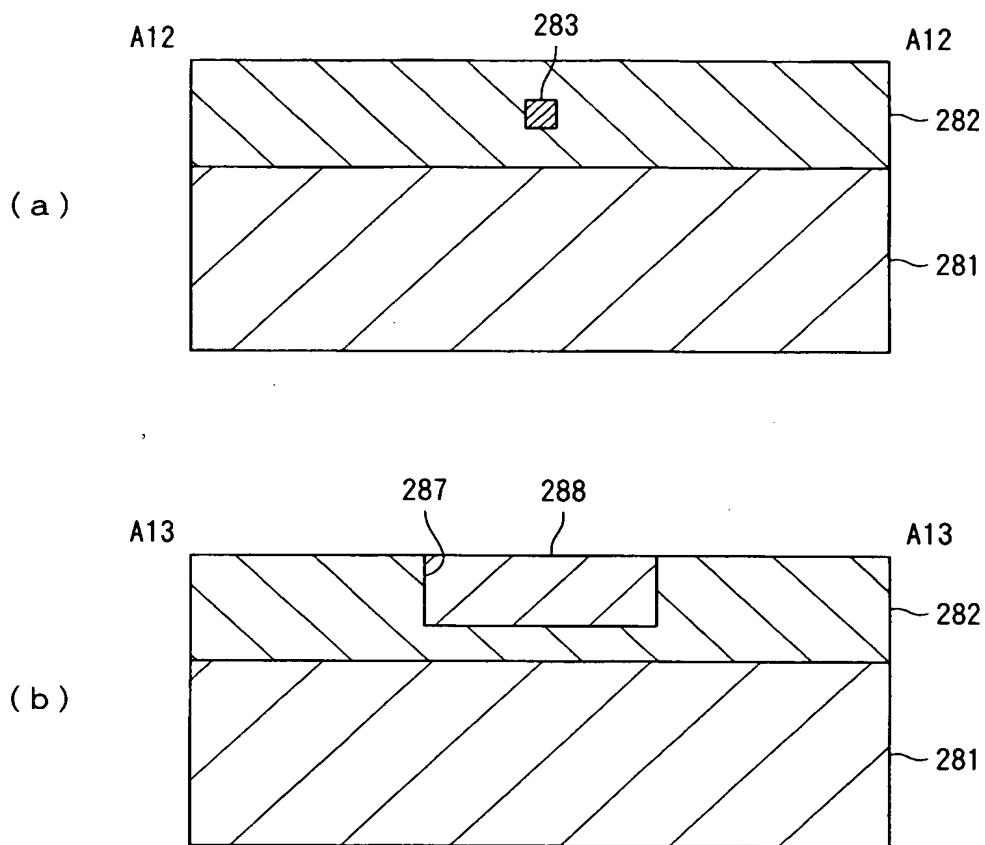
【図29】



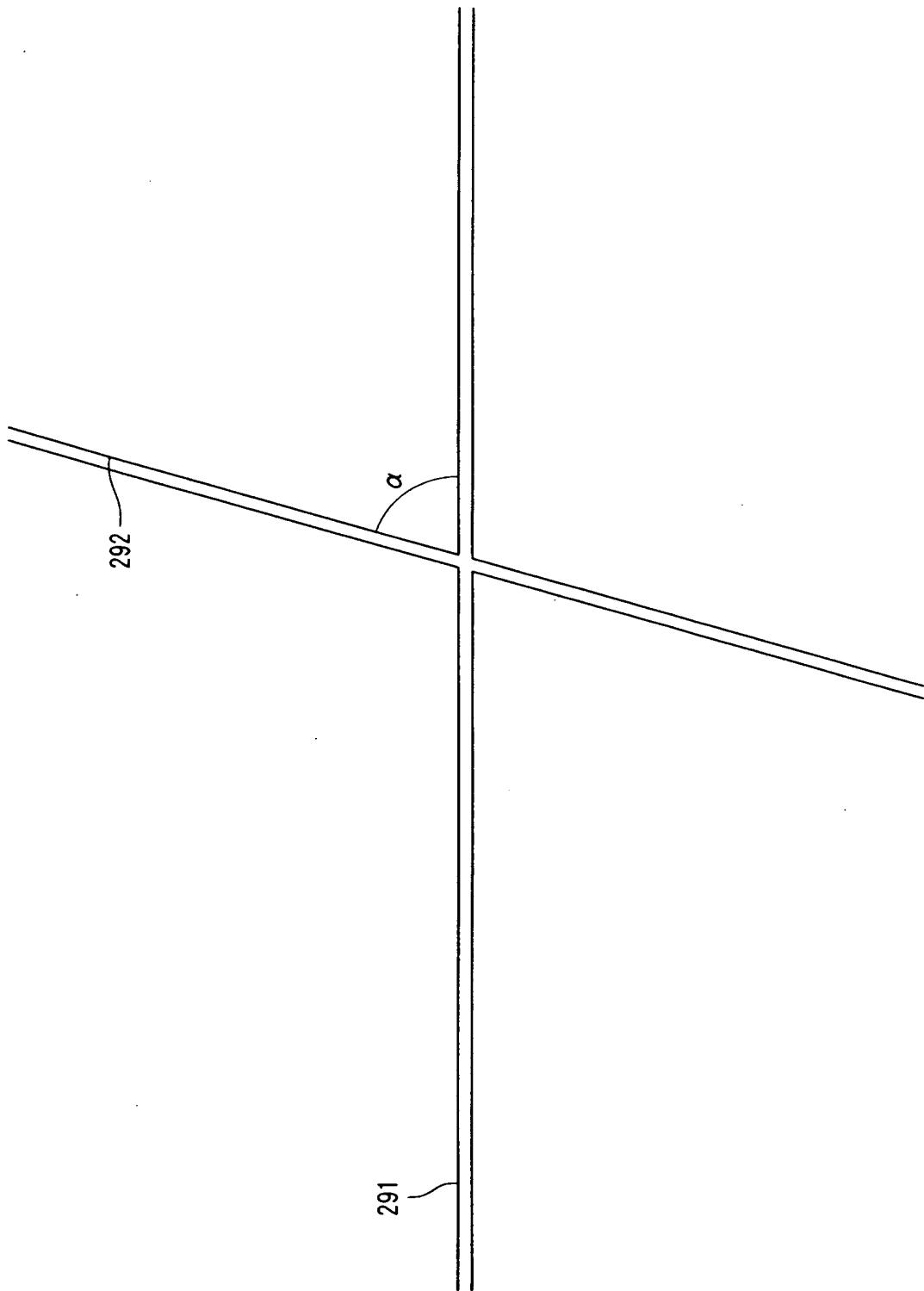
【図30】



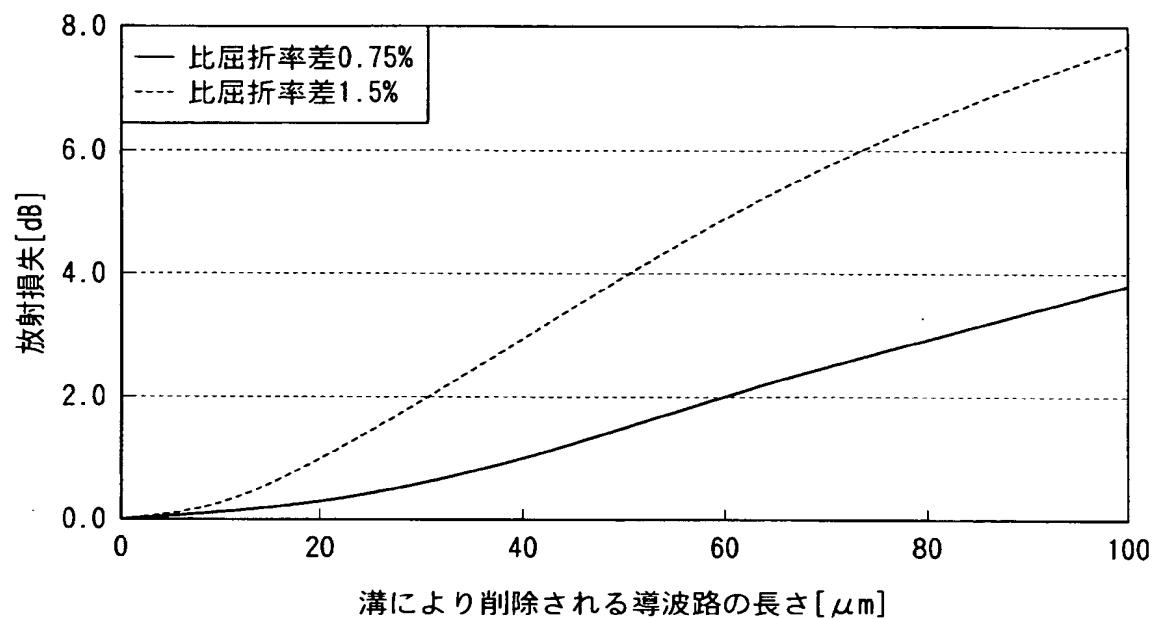
【図31】



【図32】



【図33】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 損失要素が設けられた光導波路の放射損失を低減する。

【解決手段】 溝4が形成され、温度補償材料を溝4に充填した光導波路3において、溝4の前段に導波路間隙6を設ける。

【選択図】 図1

特願 2002-335257

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社